

제 10 장

터빈 발전기와 보조 계통



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.	터빈 발전기와 보조 계통	10.1-1
10.1	개요	10.1-1
10.2	터빈 발전기	10.2-1
10.2.1	설계 기준	10.2-1
10.2.1.1	안전 설계 기준	10.2-1
10.2.1.2	출력 발생 설계 기준	10.2-1
10.2.1.3	규격 및 표준	10.2-2
10.2.2	일반 사항	10.2-2
10.2.2.1	터빈 발전기 일반	10.2-3
10.2.2.2	터빈 발전기 기기 및 계통	10.2-3
10.2.2.2.1	터빈 발전기 사이클	10.2-3
10.2.2.2.2	윤활유 계통	10.2-4
10.2.2.2.3	축 회전 및 재킹 계통	10.2-5
10.2.2.2.4	발전기	10.2-5
10.2.2.3	자동 제어	10.2-6
10.2.2.3.1	터빈 제어 및 감시(Mark-V) 계통	10.2-6
10.2.2.3.1.1	속도 제어 기능	10.2-8
10.2.2.3.1.2	부하 제어 기능	10.2-10
10.2.2.3.1.2.1	기준 부하	10.2-11

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		페이지
10.2.2.3.1.2.2	부하율	10.2-12
10.2.2.3.1.2.3	부하 일정 감발(Runback)	10.2-12
10.2.2.3.1.2.4	밸브위치제한	10.2-13
	(삭 제)	
10.2.2.3.1.2.6	조절 증기 압력 제한기(T SPL)	10.2-14
10.2.2.3.1.2.7	조절 밸브 시험	10.2-14
10.2.2.3.1.2.8	밸브 기준 신호	10.2-15
10.2.2.3.1.3	유량 제어 기능	10.2-16
10.2.2.3.1.4	조절밸브체스트 또는 회전자 동체 예열	10.2-17
10.2.2.3.1.5	출력/부하 불평형	10.2-18
10.2.2.3.1.6	부하 상실 운전	10.2-19
10.2.2.4	터빈 보호	10.2-20
10.2.2.4.1	비상 과속 트립	10.2-22
10.2.2.4.2	순차적 트립 및 모터링 방지	10.2-23
10.2.2.4.3	증기 밸브 닫힘	10.2-24
10.2.2.4.4	24볼트 및 125볼트 직류 트립 계통	10.2-24
10.2.2.5	기타 보호 계통	10.2-25
10.2.2.6	발전소 부하 및 부하 추종	10.2-25
10.2.2.7	검사 및 시험 요구 사항	10.2-26
10.2.3	터빈 비산물	10.2-26
10.2.4	터빈 디스크 건전성	10.2-27

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.2.4.1	재료 선택	10.2-27
10.2.4.2	파단 인성	10.2-27
10.2.4.3	고온 특성	10.2-28
10.2.4.4	터빈 디스크 설계	10.2-28
10.2.4.5	가동전 검사	10.2-29
10.2.4.6	가동중 검사	10.2-29
10.2.5	평가	10.2-30
10.3	주증기 공급계통	10.3-1
10.3.1	설계 기준	10.3-1
10.3.1.1	안전 설계 기준	10.3-1
10.3.1.2	계통 설계 기준	10.3-2
10.3.2	계통 설명	10.3-3
10.3.3	안전성 평가	10.3-5
10.3.4	시험 및 검사 요건	10.3-7
10.4	복수 계통	10.4-1
10.4.1	복수기	10.4-1
10.4.1.1	설계 기준	10.4-1
10.4.1.1.1	안전 설계 기준	10.4-1
10.4.1.1.2	계통 설계 기준	10.4-1

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.4.1.2	계통 설명	10.4-2
10.4.1.3	안전성 평가	10.4-4
10.4.1.4	시험 및 검사	10.4-4
10.4.2	복수기 진공계통	10.4-4
10.4.2.1	설계 기준	10.4-4
10.4.2.1.1	안전 설계 기준	10.4-4
10.4.2.1.2	계통 설계 기준	10.4-4
10.4.2.2	계통 설명	10.4-5
10.4.2.3	안전성 평가	10.4-5
10.4.2.4	시험 및 검사	10.4-5
10.4.3	터빈 축 밀봉계통	10.4-6
10.4.3.1	설계 기준	10.4-6
10.4.3.1.1	안전 설계 기준	10.4-6
10.4.3.1.2	계통 설계 기준	10.4-6
10.4.3.2	계통 설명	10.4-6
10.4.3.3	안전성 평가	10.4-7
10.4.3.4	시험 및 검사	10.4-7
10.4.4	주증기 우회계통	10.4-8
10.4.4.1	설계 기준	10.4-8
10.4.4.1.1	안전 설계 기준	10.4-8
10.4.4.1.2	계통 설계 기준	10.4-8

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.4.4.2	계통 설명	10.4-8
10.4.4.3	안전성 평가	10.4-9
10.4.4.4	시험 및 검사	10.4-9
10.5	급수 가열 계통	10.5-1
10.5.1	일반 사항	10.5-1
10.5.2	재생 급수 가열 계통	10.5-2
10.5.2.1	설계 기준	10.5-3
10.5.2.1.1	안전 설계 기준	10.5-3
10.5.2.1.2	계통 설계 기준	10.5-3
10.5.2.2	계통 설명	10.5-4
10.5.2.3	안전성 평가	10.5-5
10.5.2.4	시험 및 검사	10.5-5
10.5.3	복수 및 급수계통	10.5-6
10.5.3.1	설계 기준	10.5-6
10.5.3.1.1	안전 설계 기준	10.5-6
10.5.3.1.2	계통 설계 기준	10.5-8
10.5.3.2	계통 설명	10.5-11
10.5.3.3	안전성 평가	10.5-12
10.5.3.4	시험 및 검사	10.5-12
10.5.4	복수보충 및 배출 계통	10.5-13

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

목 차

		<u>페이지</u>
10.5.4.1	설계 기준	10.5-13
10.5.4.1.1	안전 설계 기준	10.5-13
10.5.4.1.2	계통 설계 기준	10.5-13
10.5.4.2	계통 설명	10.5-13
10.5.4.3	안전성 평가	10.5-14
10.5.4.4	시험 및 검사	10.5-14
10.5.5	습분분리/재열기 응축수 계통	10.5-14
10.5.5.1	설계 기준	10.5-14
10.5.5.1.1	안전 설계 기준	10.5-14
10.5.5.1.2	계통 설계 기준	10.5-14
10.5.5.2	계통 설명	10.5-15
10.5.5.3	안전성 평가	10.5-15
10.5.5.4	시험 및 검사	10.5-15
10.6	보조 계통	10.6-1
10.6.1	일반 사항	10.6-1
10.6.2	시료 채취 계통	10.6-1
10.6.3	증기 배수 계통	10.6-2
10.6.4	화학 물질 주입 계통	10.6-2
10.6.5	복수기 냉각수 계통	10.6-3
10.7	참고 문헌	10.7-1

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

표 목 차

		<u>페이지</u>
표 10.2-1	터빈 발전기 성능 자료	10.2-31
표 10.2-2	터빈 발전기 설계 자료	10.2-32



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

그림 목 차

그림 10.1-1	터빈 및 급수계통 개략도
그림 10.1-2(a)	100%FP시의 열평형도
그림 10.1-2(b)	25%FP시의 열평형도
그림 10.1-2(c)	50%FP시의 열평형도
그림 10.1-2(d)	75%FP시의 열평형도
그림 10.1-3	터빈건물 배치도 - 평면도
그림 10.1-4	터빈건물 - 종방향 단면도
그림 10.1-5	터빈건물 - 횡방향 단면도
그림 10.2-1	MARK-V 개략 선도
그림 10.3-1	주증기 계통 흐름도
그림 10.4-1	복수기 및 진공계통 흐름도
그림 10.4-2	주증기 우회 계통 흐름도
그림 10.5-1	급수 가열 계통 흐름도
그림 10.5-2	복수 및 급수 계통 흐름도
그림 10.5-3	습분 분리기 배수 계통 흐름도
그림 10.5-4	재열기 배수 계통 흐름도
그림 10.6-1	복수기 냉각수 계통 흐름도

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10장 터빈 발전기와 보조계통

10.1 개 요

월성 3,4호기 터빈 발전기 계통은 각각 1개의 터빈 발전기와 그에 관련된 복수 및 급수계통으로 구성되어 있다. 각 터빈 발전기는 1개의 단일축으로 되어있고 회전수는 1800 rpm이며 총 정격출력은 714.9 MW이다.

전 부하시(정격 연속 터빈용량)의 증기조건은 고압터빈 조절밸브에서 4.51 MPa (654 psia), 257.5 °C (495.5 °F)이고 고압터빈을 통과하여 재열된 증기의 온도는 242.6 °C (468.6 °F) 이다.

이때의 증기소비량은 고압터빈에서 3,564,837 kg/h이고 증기 재열기에서 154,044 kg/h이다.

그림 10.1-1은 2차계통의 개략도이며 이 계통의 주요 기기와 이들 상호간의 관계를 보여준다. 열평형도(그림 10.1-2(a))에는 전 출력시의 계통내 주요 온도, 압력, 유량이 표시되어있다. 전 출력의 25, 50, 75% 와 과도출력 상태에서의 열평형도는 각각 그림 10.1-2 (b),(c),(d),(e)에 나타나있다.

터빈 발전기 및 관련 보조기기는 건물내부에 설치되고 가능한 터빈 건물 천정크레인을 사용할 수 있도록 위치한다.

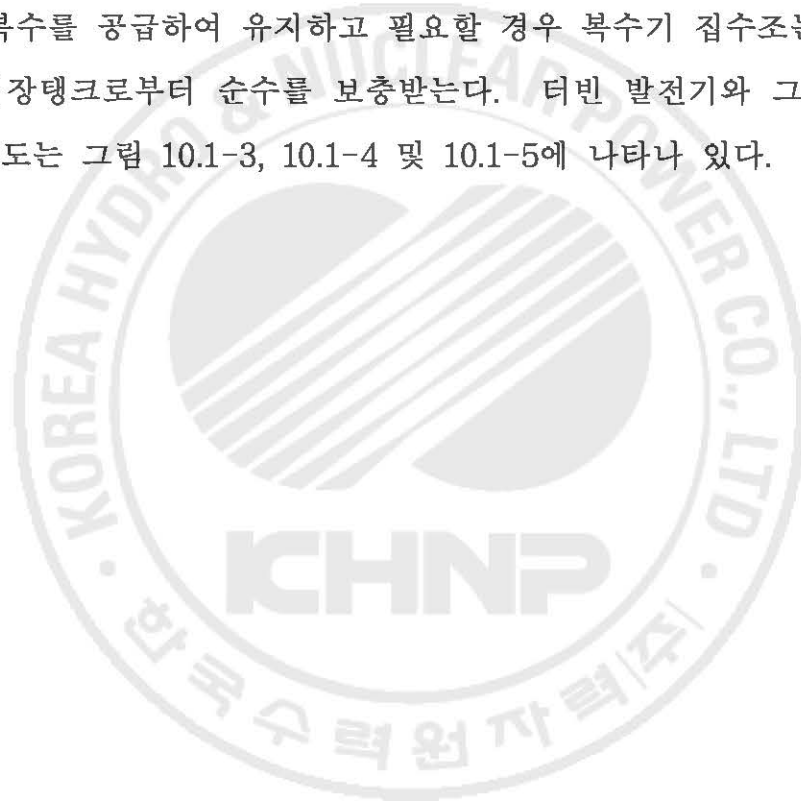
전원 상실시 어떤 기기라도 손상없이 운전정지 시킬 수 있는 설비가 되어있고 기동전 또는 정지후 운전은 주제어실 또는 현장에서 할 수 있으나 기동, 정상운전, 정지는 별도의 규정이 없으면 주제어실에서만 운전 가능하다. 기동 및 부하 감발시에 터빈에서 사용되지 않는 잉여 증기는 주증기 우회 계통을 통해 복수기로 방출된다.

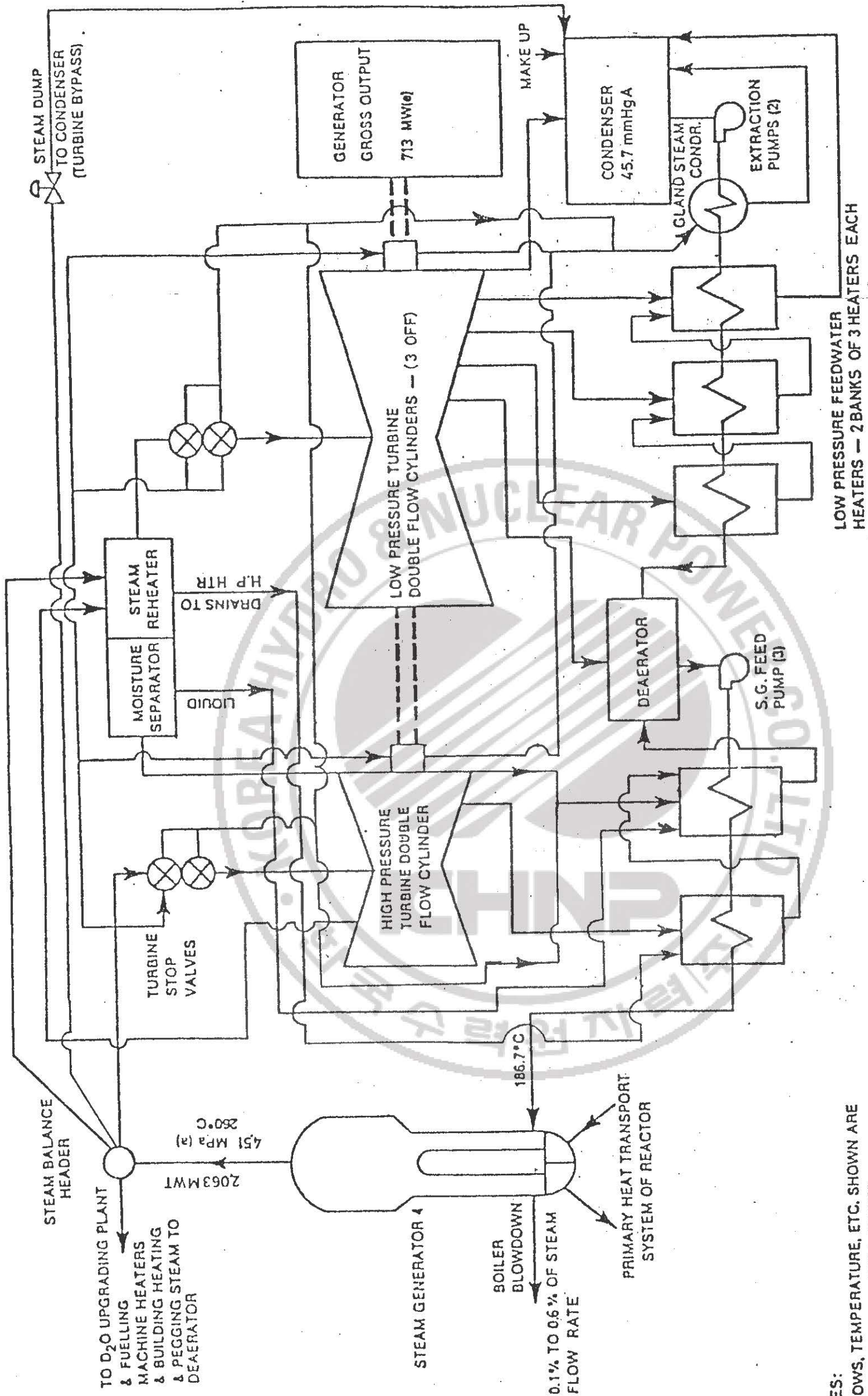
복수기로의 터빈 우회 주증기 방출 용량은 원자로의 트립없이 원자

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

로 출력 70%에 상당하는 증기를 지속적으로 방출 가능하도록 설계되었다. 탈기기 급수 저장탱크의 용량은 원자로 전출력시 5분간 요구되는 급수량과 같다.

복수기 집수조의 저장용량은 복수펌프가 100%용량으로 운전시 최소한 3분간 공급할 수 있다. 4급전원 상실시에는 3급전원에 연결된 1개의 보조 급수펌프가 탈기기 급수 저장 탱크로부터 증기발생기에 급수한다. 이때 탈기기 저장탱크의 수위는 3급전원에 연결된 1개의 보조 복수펌프를 이용하여 복수기 집수조로부터 복수를 공급하여 유지하고 필요할 경우 복수기 집수조는 복수 저장탱크와 순수 저장탱크로부터 순수를 보충받는다. 터빈 발전기와 그 보조기기들의 배치 및 단면도는 그림 10.1-3, 10.1-4 및 10.1-5에 나타나 있다.





NOTES:
1. FLOWS, TEMPERATURE, ETC. SHOWN ARE
TYPICAL AT 100% FULL POWER

HIGH PRESSURE FEEDWATER HEATERS -
2 BANKS OF 2 HEATERS EACH

LOW PRESSURE FEEDWATER
HEATERS - 2 BANKS OF 3 HEATERS EACH


한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

터빈 및 급수계통 개략도


그림 10.1-1

 <div>한국전력공사 월성원자력 23.4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	<div>100%FP시의 열평형도</div> <div>그림 10.1-2(a)</div>
--	--




 <div>한국전력공사 원성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	25%FP시의 열평형도 그림 10.1-2(b)
---	----------------------------------



 <div>한국전력공사 월성원자력 23.4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	<div>50%FP시의 열평형도</div> <div>그림 10.1-2(c)</div>
--	---




 <div>한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	<div>75%FP시의 열평형도</div> <div>그림 10.1-2(d)</div>
---	---




<div></div> <div>한국전력공사 원자력 2, 3, 4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	<div>파출력시 열 평형도</div> <div>그림 10.1-2(e)</div>
--	---





 <div>한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	터빈진물 배치도 - 평면도 그림 10.1-3
---	-----------------------------



 <div>한국전력공사 월성원자력 2,3,4호기 최종 안전성 분석 보고서</div>	터빈건물 - 중방향 단면도 그림 10.1-4
---	-----------------------------



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

터빈건물 - 횡방향 단면도

그림 10.1-5

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

10.2 터빈 발전기

터빈 발전기의 역할은 열에너지를 전기에너지로 바꾸는 것이다.

10.2.1 설계기준

10.2.1.1 안전 설계 기준

터빈 발전기는 안전성 관련 기능이 없으므로 안전 설계 기준은 적용하지 않는다.

10.2.1.2 출력발생 설계기준

다음은 주요 설계기준의 내용이다.

터빈 발전기는 다음과 같은 조건을 만족하기 위하여 설계된다.

가. 터빈 발전기 보증출력 [kW]	714,935
나. 초기 증기유량(throttle flow), [kg/hr(lb/hr)]	3,564,837 (7,860,465)
다. 초기 증기조건	
압 력, [kg/cm ² A(psia)]	45.99(654)
온 도, [℃(°F)]	257.5(495.5)
수분함량, [%]	0.3
엔 탈 피, [kcal/kg(Btu/lb)]	667.0(1200)
라. 배기 압력, [mmHgA(in.HgA)]	45.7(1.80)
마. 재열단 수	2
바. 급수 가열단 수	6

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

이들 조건은 표 10.2-1에 나타난 원자로 정격보증출력(100%)과 일치한다.

터빈 발전기는 그외 다른 요인이 없다면 트립없이 다음과 같은 부하조건을 수용할 능력을 가진다.

가. 정격 전기적 용량의 100 % 증가에 이르기까지 부하의 급감발 외부 부하가 완전히 상실될 경우, 터빈 발전기는 자동적으로 소내부하(house load)까지 감발되어, 동기 속도(synchronous speed)로 운전된다.

나. 복수기 배압이 45.7mm(1.8 in.)HgA 또는 그 이하에서 최소한 4시간동안 3%부하에서의 운전

다. 부하 증가율은 0에서 10%/min. 사이에서 운전자가 선택할 수 있으며 부하 감발율도 이와 같으나 긴급 부하감속(2.2%/sec)도 가능하다.

10.2.1.3 규격 및 표준

터빈 발전기와 관련 설비는 GE사의 표준과 사양에 따라 설계되고 제작된다.

제통의 구성기기는 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section VIII, Unfired Pressure Vessels ; ASME B 31.1, Code for Power Piping ; TEMA and HEI Standards for Heat Exchangers ; NEMA Standards ; IEEE Standards ; Hydraulic Institute Standards ; 및 National Board of Fire Underwriters의 규정요건에 따라서 설계되었다.

10.2.2 일반 사항

GE사의 터빈 발전기는 TC6F-43으로 표시되며, 터빈, 발전기, 습분 분리/재열기, 여자기, 제어 계통, 그리고 보조 계통으로 구성된다. 터빈 발전기의

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

주요 설계인자는 표 10.2-1과 10.2-2에 나타나 있다. 계통기기에 대한 상세한 설명은 다음과 같다.

10.2.2.1 터빈 발전기 일반

터빈은 1800 rpm, 직렬 배열 형식(tandem-compound), 6-유동, 43 인치의 최종단 버켓(bucket)을 가지는 재열 형식이다.

터빈은 하나의 복류 고압 터빈, 세개의 복류 저압 터빈 그리고 각각 2개의 재열단을 가지는 2개의 습분 분리/재열기를 포함하고 있다. 직렬 구동 발전기(direct-driven generator)는 22kV, 3상, 60Hz의 828 MVA 정격의 전도체(conductor)냉각방식이다. 그외에 터빈 발전기 베어링 윤활유 계통, Mark-V 터빈 제어계통, 터빈 축 밀봉계통(10.4.3절 참조), 터빈 발전기 감시 계측(TGSI) 계통, 과속보호 장치, 터닝기어, 발전기 수소 및 밀봉유 계통, 고정자 냉각수 계통, 여자기 냉각기, 정류기 및 전압 조정기를 포함한다.

10.2.2.2 터빈 발전기 기기 및 계통

10.2.2.2.1 터빈 발전기 사이클

주증기 계통으로부터 발생한 증기는 4개의 트립 및 조속기 밸브를 통하여 고압 터빈으로 유입된다. 정지 밸브의 전후단은 정지 밸브가 하나 또는 그 이상이 닫혔을 경우에 압력평형을 유지할 수 있도록 하기 위하여 상호 연결되어 있다. 주증기의 일부는 저압터빈으로 공급되는 증기의 제 2단 재열을 위해 사용된다. 고압 터빈에는 세곳의 증기 추기점이 있다. 첫번째(고압) 추기점으로부터 나온 증기는 2단 재열기 중의 첫번째 단의 재열을 위해 사용된다. 두번째 추기점으로부터 나온 증기는 6번 급수가열기 가열을 위해 사용된다. 세번째 추기점으로부터 나온 증기는 5번 급수가열기 가열을 위해 사용된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

고압 터빈에서 팽창된 증기는 습분분리 재열기를 통과하면서 함유된 습분이 제거되고 과열됨으로써 사이클 효율이 개선된다. 저온 재열 증기의 일부는 5번째 급수단 가열을 위해 사용된다.(급수 가열기는 추기 압력의 증가 순서에 따라 순차적으로 번호가 매겨진다.) 습분분리 재열기에서 나오는 고온 재열 증기는 중간 정지 및 인터셉트 밸브를 통하여 3개의 저압 터빈에 균등하게 공급된다. 각각의 저압 터빈에는 4개의 증기 추기점이 있는데, 가장 높은 압력의 추기는 탈기기로 공급된다. 나머지 3개의 추기는 급수 가열기의 나머지 3개단에 공급된다. 저압터빈에서 팽창된 증기는 복수기로 방출된다.

습분 분리기에 추가하여, 저압 터빈의 마지막 3단은 응축된 수분을 제거하고 그 다음의 가장 낮은 추기로 배수되도록 설계되어졌다. 습분 분리기로부터 나오는 수분은 습분 분리기 배수 탱크로 배수되어, 다시 제 5단 급수 가열기로 가고 급수 가열기 배수는 다시 탈기기로 보내진다. 비슷하게 제1단과 제2단 재열기로부터의 응축수는 개개의 재열기 배수 탱크로 배수되며, 다시 제6단 가열기로 보내진다. 이 응축수는 가열기 안에서 기화되어 열이 회수되며 다른 가열기 배수와 합쳐져서 탈기기로 보내진다.

10.2.2.2.2 윤활유 계통

다음 기기들을 포함한다.

가. 터빈축-구동 주윤활유 펌프

나. 승압 오일 펌프

다. 모터 흡입 펌프(MSP)

라. 교류 모터 구동 터닝기어 오일 펌프(TGOP)

마. 직류 모터 구동 비상윤활유 펌프(EBOP)

바. 변환장치(Switching Device)를 포함한 오일 냉각기

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

사. 교류 모터 구동 오일탱크 기포 추출기

아. 터빈 발전기의 윤활유 배관 및 밸브

자. 모터흡입 펌프, 터닝기어 오일펌프와 비상 윤활유 펌프를 위한 자동기동장치

모터흡입 펌프와 터닝기어 오일펌프는 터빈 발전기의 기동시 사용된다. 비상윤활유 펌프는 오일탱크의 압력이 허용치 이하로 떨어지거나 펌프에 공급되는 교류전원 상실시 터빈 발전기의 안전정지를 위하여 기동한다.

터빈 오일탱크에 연결된 오일 정화계통은 다음 사항을 포함한다.

가. 이송펌프

나. 저장탱크

다. 오일 정화기

10.2.2.2.3 축 회전 및 재킹 계통

본 계통에는 다음 사항들이 포함된다.

가. 보호장치가 되어있는 터닝기어, 누름단추 스위치가 있는 현장 제어반, 전등 및 전류계

나. 재킹 오일계통

터닝 기어는 터빈속도가 떨어지면 자동 또는 원격조정으로 가동되어 정격속도인 3 rpm 으로 유지되며 터빈속도가 약 6 rpm 이상 되면 자동 분리되도록 설계되어 있다. 터닝 기어는 재킹오일계통에 의해 터빈축에 충분한 상승압력이 작용할 때만이 작동가능하다.

10.2.2.2.4 발전기

발전기는 3상 전기자, 회전계자형이며 계자는 4극으로 되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

고정자 권선은 튜브형 구리 전도체내의 폐회로에 저전도율의 물이 순환하므로써 냉각된다. 고정자 철심은 철심의 축 및 반경 방향의 도관을 통하여 흐르는 수소 가스에 의해 냉각되며, 회전자 권선은 구리 전도체내의 도관을 통하여 흐르는 수소가스에 의해 냉각된다.

여자계통은 정지형(static type)이며, 직류 모선덕트, 발전기 슬립링(Slip-Ring) 및 브러쉬기어를 통하여 발전기에 여자 전력을 공급해주는 싸이리스터(Thyristor)형 변환기를 제어할 수 있는 반도체형 자동 전압 조절기로 되어있다.

발전기로 부터 주변압기까지의 주출력선로는 강제 공기 순환식으로 냉각되는 상분리 모선이고, 이 모선에서 소내용 변압기 및 계기용 변압기 및 여자 전압기를 분기시킨다. 계측 및 보호계전기용 변류기는 발전기 주 출력단의 부상에 설치되어 있다.

114

10.2.2.3 자동 제어

자동 제어 계통은 몇 단계의 속도 및 가속도 설정치에 따라 터빈 발전기 속도 전범위에서 터빈 속도 및 가속을 제어한다. 자동 제어 계통은 연속적인 부하 조절 및 다단계의 부하율로 무부하에서 전부하까지의 부하 및 부하율을 제어한다. 자동제어로 운전되고 있는 터빈 발전기에서 자동 제어 방식을 해제할 필요가 있을경우, 속도 및 부하의 제어를 수동으로 전환하므로써 계속하여 터빈 발전기를 운전할 수 있다.

10.2.2.3.1 터빈 제어 및 감시(Mark-V) 계통

Mark-V는 전기 및 유압 기기들로 구성된다. Mark-V 터빈 제어

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

및 감시 계통의 개략도가 그림 10.2-1에 나타나 있다. 전형적으로, 전기장치는 기계와 논리제어 장치를 연결하고 유압장치는 터빈 증기유량을 조절하는 밸브의 유압실린더에 고압유체를 공급해 준다.

가. 계통일반

Mark-V 계통은 정상 운전시 터빈 발전기의 감시 및 보호와 자동 및 수동제어 기능을 제공한다. 특히 이 계통은 주요 변수를 측정하여 판단, 적용하며 터빈 발전기의 기동, 부하 증·감발 및 정지를 위한 주증기 조절밸브의 위치를 조절한다. 또한 이 계통은 과속, 윤활유 상실, 과열 등 비정상적인 운전조건으로부터 터빈 발전기를 보호하고 정상운전중 이 조건들을 감시하고 점검할 수 있다.

나. 주요 기능

Mark-V는 다음의 주요기능을 수행하도록 설계되었다.

- (1) 속도 및 부하제어
- (2) 정상 및 비상시 과속제어
- (3) 기기 보호
- (4) 터빈 밸브 위치 선정
- (5) 터빈 감시
- (6) 회전자 출력 감시

터빈 발전기의 안전한 운전을 위하여 기존의 보호기능과 폐회로 제어를 수용하도록 주요계통(primary system)에는 3중의 디지털 제어 처리 장치와 보호 논리회로를 사용한다. 이 다중성 회로는 주요 제어계통 하드웨어의 고장으로 인한 터빈 발전기 운전장애를 방지하고 터빈 발전기를 정지시키지 않고서도 고장난 제어 계통을 수리 할 수 있도록 해준다. 세대의 컴퓨터 모니터, 세대의 접촉식 제어반 그리고 하나의 보조제어반으로서 Mark-V를 운전할 수 있다. 이

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

들 제어반은 주요 제어, 보호 및 감시 기능과 상호 작용을 하며 매우 편리한 제어 및 표시와 감시기능을 운전자에게 제공한다. 자동 터빈 기동(ATS) 기능은 주로 슈퍼바이저 컴퓨터에 위치하며 터빈의 자동운전을 실행한다.

다중의 감지기로부터의 입력신호는 유효성을 검사하며 감지기의 잠재적 기능상실이나 편차로부터 보호하기 위하여 평가(vote)된후 평가된 제어계산이 실행된다. 제어기 출력 또한 기기의 고장으로 인한 오류 명령을 제거하기 위하여 평가(vote)된다. 논리회로 출력도 3개중 2개 접속회로를 통하여 선택된다.

주제어 밸브 구동기기의 작동은 3중 제어기의 출력 전류의 합으로서 이루어 진다. 프로세서 변수의 평가는 3중 코일 써보 밸브에도 적용되며 첫째 단일고장(single-point failure)은 써보밸브 그 자체에만 국한된다. 온라인 써보밸브 교체도 가능하도록 되어있다.

제어 채널 사이가 완전히 독립된 이러한 3중 설계개념은 하나의 주 채널 고장시에도 연속적인 운전을 가능하게한다. Mark-V 계통은 하나 또는 그 이상의 증기 밸브의 고장시에도 계속 운전할 수 있다.

3중 제어기는 각각 동일하프로 부품을 서로 교환하여 사용할 수 있다. 3중 제어기중 하나의 제어기는 계통운전에 지장을 주지않고 정지시켜 계통으로부터 제거할 수 있다. 각각의 제어기는 독립적인 전원 공급원을 갖는다. 또한 캐비닛은 충분한 공간 확보로 온라인 기기 수리등 보수시 편리하도록 하였다.

10.2.2.3.1.1 속도 제어 기능

조속기 속도 제어(governor speed control)는 트립 계통과 완전히 연결되어 있으며 터닝 기어 속도로부터 과속 보호 트립 장치의 시험속도까지 전 속도 범위안에서 정확히 속도를 제어할 수 있다.

다중 속도 피드백 신호는 터빈 측에 부착된 톱니바퀴에 설치된 다

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

중의 감지기로부터 측정된다. 분리된 측정 침이 3중 전기 조속기 채널에 개별적으로 부착되어 있고 톱니바퀴 및 측정 침은 모두 터빈 프론트 스텐다드에 위치되어 있다.

각각의 3중 속도제어 회로는 전력계통 분리시의 속도 및 가속제어와 계통병입 운전시 정확한 속도제어를 하는데 사용된다. 최종 제어는 3개의 전기식 제어기 채널로 부터의 신호중 2개를 선택하는 논리방법에 의해 결정된다.

속도 제어기는 부하제어기에 입력되는 속도 편차 신호를 발생한다. 이 신호는 다른 신호와 합쳐져서 증기 밸브를 조절한다. 속도 편차신호는 기준속도(요구속도)와 정상상태 조건에서의 실제 속도와 비교하여 발생한다.

요구속도 목표치는 수동으로 접촉식 제어반에서 수동으로 선택할 수 있다. 속도 목표치는 저속 유지 운전(열균형 필요시)시 정상상태 운전과 정격속도를 설정하는 기능을 갖는다. 과속 능력을 시험하기 위한 터빈 과속(설정된 가속율에 따른)이 가능하도록 분리된 선택 기능도 마련되어 있다. 이 선택 기능을 복귀시키면 터빈은 정격속도로 점차 감속된다.

단계적 가속 기준신호도 또한 선택될 수 있다. 속도제어기에는 터빈속도가 천천히 변화하고 있을때 터빈속도를 고속으로 변화시킬 수 있는 Wobbulator라고 불리는 기능이 있다. Wobbulator는 터빈이 버켓의 공진 속도 근처에서 연속운전되는 것을 방지한다.

동기속도 일치 방법으로는 다음의 3가지 방법이 가능하다.

가. Mark-V 자동동기 속도조절기(Automatic Speed Matcher)가 속도조절기에 포함되어 있으며 계통병입을 간단하게 할 수 있다.

다음의 조건이 만족되면 자동동기 속도조절기가 작동한다.

- (1) 자동동기 속도조절기능 선택됨
- (2) 동기 속도 선택됨

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(3) 목표 속도 표시됨

(4) 과속 시험은 선택 안됨

(5) 회로 차단기 개방이 표시됨

자동동기속도 조절기능이 작동되면 이 회로는 운전원이 차단기를 투입할때까지 터빈 속도를 요구되는 슬립 주파수로 조절한다. 이 자동 동기 속도 조절기는 항상 작동을 정지시킬 수 있다.

나. 원격장치로 동기속도와 일치시킬 수 있다. 터빈 속도는 자동병입 기기로부터 수신되는 증감펄스(접속폐쇄)에 따라 Mark-V에 의해 조절된다. 이 경우, 슬립 주파수는 자동 병입 계통에 의해 설정된다.

다. 반자동모드일때는 터빈접촉 제어반에서 보조모드일때는 보조 제어반에서 수동으로 증가/감속을 선택하여 동기속도로 일치시킬 수 있다.

10.2.2.3.1.2 부하 제어 기능

부하 제어 기능의 기본 목적은 증기 유량 제어를 위하여 Mark-V 계통의 입력신호를 받아 이를 부하 제어 기능 내부의 기능과 통합하여 유량 기준 신호를 계산하는 것이다. 운전조건을 표시하는 스위치 신호도 Mark-V계통의 다른부분에 제공된다.

부하 제어 기능은 다음과 같이 분류할 수 있다.

가. 부하에 영향을 주는 변수들에 비례하는 신호를 발생하고 검출하기 위한 감지 기능.

나. 감지회로, 속도 제어기능 또는 발전소 기기의 상태를 검출하는 장치로 부터의 신호에 대응하여 유량기준신호를 전기적으로 억제하기 위한 제한 기능(limiting function)

다. 요구부하신호, 제한기능, 그리고 속도제어 기능으로부터의 속도

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

편차신호들을 고려하여 유량기준신호를 발생하기 위한 계산기능.

라. 운전모드의 변경, Mark-V계통의 다른 요소들과 부하 제어 기능 사이의 상호 정보전달 및 스위치 신호를 Mark-V계통에 있는 장치에 공급하기 전에 필요한 운전 허용조건이 만족되었는지 확인하기 위한 논리회로 기능.

부하 제어 기능에 대한 각각의 설명은 위에서 설명한 하나의 기본적인 일반기능 보다 더 많은 기능을 포함한다. 위의 각 설명은 적절한 기능(감지, 제한, 계산)과 관련된 논리회로의 기능에 대한 것이다.

부하 제어 기능은 다음과 같다.

- 가. 기준부하
- 나. 부하율
- 다. 부하 일정 감발(runback)
- 라. 밸브 위치 제한
- 마. 부하 연속 감발(setback)
- 바. 주증기/조절증기 압력 제한기
- 사. 조절밸브시험 바이어스와 추기단 압력 피드백
- 아. 밸브 기준 수치

10.2.2.3.1.2.1 기준부하

기준부하는 정격조절 증기압력에서의 요구 부하와 대응하는 수치이다. 부하 제어 기능은 기준부하를 설정된 목표부하에 따라 설정된 부하율로 변경한다.

기준부하는 다음의 방법으로, 목표부하를 변경함으로써 변경된다.

- 가. 목표부하는 접촉제어반에서 반자동 또는 자동으로, 또는 보조

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

모드시에는 보조제어반에서, 증가 또는 감소시킬수 있다.

나. 자동 또는 수동 속도일치 기능에 의해 발생된 신호들과 원격 조정 운전시 원격장치로부터 받은 신호들을 증가·감속시켜 목표부하를 설정한다.

접촉제어반, CRT들 그리고 보조제어반의 화면에 운전모드, 부하, 목표부하, 기준부하, 부하율이 표시된다.

어떤 비정상 상태에서는 기준부하는 부하를 감소시키는 방향으로 진행될것이 요구되며 이러한 일정감발(runback)은 10.2.2.3.1.2.3 절에 설명되어 있다.

10.2.2.3.1.2.2 부하율

부하율 기능은 기준부하 신호의 변화하는 비율을 제한하는 것이다. 반자동모드 운전시 운전원은 접촉제어반에서 0~10%/min 사이의 부하변화율을 선택할 수 있다. 선택된 비율은 부하증가 또는 감소 방향 모두에 작용한다. 부하 급감발 기능(rapid unload function)을 선택하여 부하급감발(2.2%/sec)도 수행할 수 있다. 부하증가와 부하감소 메시지가 제어반 화면에 나타나며 요구부하에 도달하면 "At Target Load"라는 메시지가 화면에 나타난다.

자동모드 운전시 운전원은 접촉제어반에서 부하율 제한값을 지정한다. 이 부하율 제한값은 회전자 용력을 고려하여 계산된 부하율을 제한하기 위해 자동터빈기동(ATS) 부하기능에 사용된다.

10.2.2.3.1.2.3 부하 일정감발(Runback)

어떤 비정상 운전조건이 감지되면 기준부하를 재조정하는 논리회로가 있다. 만일 기준부하 신호가 미리 정해진 부하 제한값을 초과하여 부하 불균형 신호를 발생하거나 발전소내의 비정상 운전 조건으로 부하 감소가 요구되는

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

신호가 입력되면 일정감발이 시작된다.

부하 일정감발은 펄스(pulse) 또는 연속접촉 폐쇄신호로 가능하다. 연속접촉 폐쇄신호는 부하를 정격에서 2%까지 45초 이내에 감소시킬 수 있다. 정상 부하감소율은 133 %/min (2.2 %/sec)이고, 신속 부하감소율은 300 %/min (5.0 %/sec)이다. 최소 펄스길이는 125ms이다. 부하 일정감발 동안에는 부하증가 요구는 무시된다.

102

10.2.2.3.1.2.4 밸브위치 제한

밸브위치제한(VPL) 기능은 정상적인 조건에서 증기유량제어를 위한 제어밸브의 열림을 제한하는 것이다. 밸브위치 제한의 다른 기능은 밸브위치 제한값의 2% 높은 값까지 기준부하를 일정감발 하는 것으로 이것은 위치제한이 해제될 경우 급격한 부하증가를 허용하지 않게 하기 위한 것이다.

(삭 제)

102

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

(삭 제)

102

10.2.2.3.1.2.6 조절 증기 압력 제한기(TSPL)(삭 제)

Mark-V 장비는 비례형 조절 증기 압력 제한기를 갖추고 있다. 이것은 조절증기압이 설정된 수치 이하로 떨어질 경우 조절밸브가 닫힘으로써 조절 증기압이 과도하게 감소하는 것으로부터 터빈을 보호하기 위해 사용한다. 압력 설정치는 0에서 정격압력(0~100%)까지 운전자 접촉 제어반에서 증가/감소 기능을 누름으로써 조절할 수 있다. 이 증가/감소 선택은 제어실의 접촉제어반에서 제공되며 조절 증기 압력 제한 기능은 항상 운전 가능하다.

이 회로의 조정은 10%로 고정되어 있다. 조절 증기 압력과 비례되는 신호는 3중의 압력 전환기에 의해 발생되고 조정 가능한 현재 수준과 비교된다. 조절 증기 압력이 설정치 이하로 떨어질 경우 압력제한이 화면에 표시되며 조절밸브에 대한 기준 유량 신호가 조절증기압력 수준에 의해 허용된 값으로 제한된다. 또한 추기단 압력 피드백은 단절된다.

주 : 주증기 압력 제한기가 원자력 발전소에서는 조절 증기압 제한기로 표시되며 각각의 제한기는 모두 유사한 기능을 수행하며 상기 설명은 모두에게 적용됨.

10.2.2.3.1.2.7 조절 밸브 시험

가. 조절 밸브 시험 바이어스

조절 밸브 시험 바이어스 기능은 속도 편차, 기준부하 및 추기단

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

압력 피드백 신호를 종합하여 연속적으로 바이어스 신호를 계산한다. 이 신호는 조절밸브 시험중 조절밸브 기준신호와 합쳐진다. 이 바이어스 신호의 가산은 추기단 압력 피드백이 연결되기 전후의 조절밸브 기준신호를 일치하도록 만든다. 시험중인 밸브의 닫힘에 따른 추기단 압력신호의 변화는 조절 밸브 기준 신호를 변경시켜 다른 조절 밸브를 적절히 열게한다. 조절 밸브 시험이 완료되면 바이어스 신호는 추기단 압력 피드백 신호와 동시에 제거된다.

나. 추기단 압력 피드백

추기단 압력 피드백은 Mark-V에서 단지 조절 밸브 시험중 일정한 터빈 출력을 유지하기 위해서 사용된다. 압력 전환기가 1단 추기 압력과 비례한 전기 신호를 발생한다. 조절 밸브 시험중, 시험되는 밸브는 닫히도록 명령받는다. 이것은 1단 추기 압력의 피드백을 증가시키고, 시험을 하지 않는 다른 조절 밸브를 자동적으로 개방한다. 이러한 작동은 압력증가를 보상하고 시험중 출력을 일정하게 유지한다.

10.2.2.3.1.2.8 밸브 기준(Valve References) 신호

두개의 밸브 기준 신호가 조절 밸브 및 인터셉트 밸브를 위한 유량 기준 신호를 발생하기 위하여 적절한 변수를 조합하여 생성된다. 2번 주정지 밸브 우회 밸브에 대한 유량 기준 신호는 유량 제어 기능으로부터 얻어진다. 조절 밸브의 기준 신호는 속도 편차와 부하 기준치를 결합한 것이다. 조절 밸브 시험중, 추기단 압력 피드백과 조절 밸브 시험 바이어스가 또한 조절 밸브 기준치를 구성하기 위해 합쳐진다. 속도 편차, 부하 기준치 및 적절한 바이어스 값이 인터셉트 밸브 기준치를 구성하기 위해 합쳐진다.

밸브들의 조절 값은 다음과 같다.

주 정지 밸브 : 5%

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

조절 밸브 : 2.5% ~ 7.0% 사이에서 조절 되고 공장설정치는 5%로 맞추어져 있다.

인터셉트 밸브 : 우회운전이 아닐 경우는 2%, 우회운전은 5%

생성된 밸브 기준 신호는 주증기 압력제한기, 밸브위치 제한에서 설명한 제한치와 관련된다.

102

10.2.2.3.1.3 유량 제어 기능

4개의 터빈 조절 밸브, 인터셉트 밸브 6개중 3개, 그리고 2번 주정지 밸브 우회 밸브는 폐쇄회로 위치제어에 의해서 작동하도록 설계되었다. 나머지 주 정지 밸브, 3개의 인터셉트 밸브 그리고 중간 정지 밸브들은 개방 제어 회로에 의해서 완전히 열려있거나 닫힌 위치에 있게된다.

가. 위치 조절

전자 유압식 삼중 코일 서어보 밸브들은 Mark-V로부터 입력된 전기 제어 신호를 변환하여 조절밸브 구동기로가는 서어보 유체의 유량을 고도로 조절하기 위하여 사용하며, 이 구동기는 제어 계통으로부터의 명령신호에 따라서 증기 밸브를 조절하기 위한 높은 기계적 힘을 제공한다.

주요 제어 프로세서로부터의 다중 신호가 서어보 밸브로 제공되고 각 터빈 밸브들의 위치는 밸브 구동기에 설치된 다중의 선형 신호 전환기에 의해 감지된다. 이들 위치 피드백 신호는 전자회로 내의 밸브 위치 루프를 연결하는데 사용되며 이는 루프 신호의 단순고장이 터빈의 강제 정지를 초래하지 않기 위함이다.

나. 증기 밸브 시험

증기 밸브 제어 회로에는 발전소 부하운전중 각 밸브들을 분리하여 시험할 수 있는 기능이 포함되어 있다. 시험은 운전 제어반에서 실시하며 각 밸

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

브가 자유롭게 움직이는 것을 확인하기 위해 완전히 닫히도록 한다. 약 91% 닫혔을 때 (9% 열림), 각 증기 밸브는 유압 구동기의 기계적 작동과 트립 계통의 건전성을 시험하기 위해 트립폐쇄(솔레노이드 작동)된다.

복합 중간 밸브(CIV)들은 하나의 인터셉트 밸브와 하나의 중간 정지 밸브로 구성된다. 각 한쌍의 밸브들은 인터셉트 밸브를 먼저 닫은후 중간 정지 밸브를 닫음으로써 시험한다. 밸브 열림 순서는 이의 반대 순서이다.

10.2.2.3.1.4 조절 밸브 체스트 또는 회전자 동체 예열

조절 밸브 체스트 또는 회전자 동체 예열은 밸브 폐쇄 목표 속도가 설정되고 회전 속도가 200 rpm 이하일 때 수행한다. 이러한 예열은 접촉제어반에서 수동으로 수행한다.

이 기능은 터빈복귀(reset)시 2번 주정지 밸브의 내부 우회 밸브를 통하여 회전자 동체 또는 체스트를 예열하기 위해 마련되었다. 체스트 예열 방법은 Mark-V의 논리회로에서 미리 선택될 것이다.

2번 주정지 밸브 우회 밸브를 통한 예열과 터빈복귀(reset)는 접촉제어반에서 설정할 수 있는 다음의 체스트 또는 회전자 동체 예열 선택권에 따라 가능하다.

회전자 동체 예열 - 이 선택은 예열 증기를 고압 회전자에 공급한다. 조절 밸브는 완전히 열려있다.

체스트 예열 - 이 선택은 예열 증기를 조절 밸브 체스트에만 공급한다. 조절 밸브는 닫혀있다.

2번 주정지 밸브 우회 밸브의 위치는 접촉제어반에서 설정할 수 있고 필요한 만큼 예열을 하기 위해 가변이 필요하다. 만일 회전자 예열중 터닝기가 분리되면 속도 제어 기능이 2번 주정지 밸브 우회 밸브와 조절 밸브를 닫아

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

서 회전자의 속도를 제어 할 것이다.

10.2.2.3.1.5 출력/부하 불평형

부하의 급감발에 따른 터빈 발전기 회전자의 급가속으로 인한 과속(overspeed)이 발생하는 것을 막기 위하여 조절밸브와 인터셉트 밸브들이 신속히 닫기도록 하는 고감도의 출력/부하 불평형(PLU) 기능이 제공된다. 이 기능은 약 40% 이상의 부하에서 작동한다. 밸브에 대한 출력/부하 불평형(PLU) 기능은 출력이 부하보다 40%이상 감소되고 발전기의 전류가 35 ms 이내에 상실되었을때 작동한다. 부하 상실 사고와 전기 계통 고장을 구별하기 위해 출력 측정용 재열 증기 압력과 부하 측정용 발전기 전류가 사용된다.

출력/부하의 불평형 조건이 감지되면 조절밸브와 인터셉트 밸브를 긴급히 폐쇄하고, 추가로 기준 부하는 0%까지 연속감발되며 목표 기준 부하는 무부하 값까지 약 2.2%/sec 의 비율로 일정 감발된다. 이러한 조건이 신속히 소멸되는경우, 출력/부하 불평형 회로는 자동적으로 원상 회복되며, 목표 기준 부하는 부하 상실 전의 값 근처에 남게되고 밸브는 그 전의 위치 가까스로 열리게 된다. 불평형 조건이 지속되고 부하가 약 45초 이내에 복귀되지 않으면 목표 기준 부하의 일정 감발이 완전히 이루어 진다.

출력/부하 불평형 회로는 재열 증기 압력이 정격의 40% 이하로 떨어지면 자동적으로 소거된다. 그리고 나서 터빈 발전기는 정격속도에 근접하고 필요하다면 재병입을 준비한다.

모의부하 상실중 출력/부하 불평형 논리회로의 기능을 점검하기 위한 시험이 실시되며 이 시험은 터빈 출력에 영향이 없는 부하에서 수행한다. 전류 상실 신호(2/3) 또는 재열 증기 압력 신호(2/3)는 출력/부하 불평형 작동을 부정하며 경보가 발생한다. 터빈 부하는 그 부하의 감발이 과속 트립을 발생시키지

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

않는 부하 수준까지 감소되어야 한다.

10.2.2.3.1.6 부하 상실 운전

발전소가 최대 부하 (밸브 완전 개방)로 운전 중 갑자기 발전기의 부하가 상실될 경우 다음의 상황이 뒤따라서 빠르게 발생할 것이다.

가. 출력/부하 불평형(PLU) 계전기(relay)가 기준부하를 0으로 전환시키고 목표 기준 부하는 영점으로 복귀시키기 시작한다.

나. 터빈은 최대 비율로 가속될 것이다.

다. 조절 밸브와 인터셉트 밸브는 급속 작동 솔레노이드 밸브에 의해 최대비율로 닫혀질 것이다.

라. 밸브와 터빈사이, 터빈 케이싱, 크로스 오우버와 추기배관 내에 있는 증기가 약 1.5초 안에 팽창할 것이다.

마. 내부 증기 팽창이 끝났을 때 터빈속도는 과속트립 설정치보다 약 0.5% ~ 1% 낮은 속도까지 도달될 것이다. 그리고 발전기의 보조 부하에 따라서 점차 감속하기 시작할 것이다.

바. 속도가 약 102 %까지 감속되면, 인터셉트 밸브가 속도제어하에 다시 열리기 시작할 것이다. 재열기(또는 중간 배관)에 남아 있는 에너지가 점차 주입되며 이것으로, 발전기의 부하 완전상실 또는 보조부하가 연결되어 있을 경우에도 회전자의 속도를 충분히 유지할 수 있다.

사. 재열 압력이 전 부하 압력의 40%로 떨어질 때, 출력/부하 불평형 계전기가 복귀(reset)되고 정상기준 부하는 계통에 재연결 된다. 이때쯤에는 목표 기준 부하는 무부하 값까지 떨어져 있을 것이다.

아. 재열 압력이 떨어진 후에 발전기는 정격속도 보다 몇 rpm 높게 돌며 계통 병입 준비 상태에 있게된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.2.2.4 터빈 보호

터빈을 트립시키거나 부하를 감발함으로써 위험한 운전조건으로부터 터빈 발전기를 보호하기 위한 설비가 공급된다. 터빈 트립 계통의 주기능은 트립요구 신호의 유효성을 점검하고 유효한 트립요구에 응답하여 즉시 트립이 작동되는지 확인하는 것이다. 유효한 트립 신호를 제어/보호 캐비닛에서 터빈 프론트 스탠다드에 있는 다중 트립장치로 보내기 위하여 다중 전기 전송방법을 사용한다.

터빈 트립계통의 요구조건은 다음과 같다.

가. 각 트립 신호 입력은 3중 보호계통에 적용된다. 3개중 2개 선정회로는 잘못된 터빈 트립을 방지하고 실제 터빈 트립에 대한 보호계통 운전을 강화한다.

나. 전자 기계식 트립 장치는 적절한 폐쇄(lock out) 장치를 사용하여 온라인 시험이 가능하며, 한 계통이 시험중 다른 중첩된 계통이 터빈을 보호한다. 즉 신호입력에서부터 실제 트립 장치까지 전 보호계통이 온라인 시험 능력을 갖추고 있다.

다. 전기적인 신호에 의한 트립은 회로의 접점 폐쇄에 의하여 시작된다. 트립 계통 전원 상실시에는 경보가 발생된다.

라. 어떤 트립 기능 또는 경보장치의 작동을 나타내는 접점들은 컴퓨터 감시/경보에 사용 할 수 있다.

다음은 터빈 트립을 유발하는 조건들이다. 상세한 트립신호출력 원인에 대해서도 설명되었다.

가. 추력 베어링 (thrust bearing) 마모 트립 - 3개의 감지기가 터빈회전자의 움직임을 측정한다. 베어링 마모가 터빈 또는 발전기 끝 방향으로 기

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

설정된 제한치를 초과시 트립 신호를 출력한다.

나. 저압 배기 후드 고온 트립 - 저압 배기 후드에 설치된 열전대는 107°C(225°F) 에서 동작한다.

다. 저진공 트립 - 저압 배기 후드에 설치된 압력스위치는 25.4 kPa (a) (7.5 in.HgA) 에서 동작한다.

라. 베어링 오일 저압 트립 - 오일 탱크에 설치된 압력 스위치는 베어링 오일 압력이 83 kPa(g) (12 psi(g)) 이하로 떨어질때 동작한다.

마. 유압유 저압 정지 - 유압 펌프에 설치된 압력스위치는 유압유가 7.6 MPa(g) (1100psig) 이하로 떨어질때 동작한다.

바. 전자식 과속 트립 - 3중 속도 감시 장치는 터빈 속도가 과속 트립 장치의 설정치를 약 1 % 이상 초과할 때 트립 신호를 발생한다.

사. 외부적 트립 - 2개의 트립 장치가 터빈 트립이 필요한 외부적 조건을 위하여 마련되어 있으며 여러개의 트립조건이 보호 계통에 병렬로 연결될 수 있다. 트립 입력 신호는 증기 발생기 트립, 모든 급수 펌프의 고장정지와 습 분 분리기의 고수위를 포함한 BOP 기기 트립, 발전소 변압기 및 차단기와 발전기의 전기적 고장을 포함한다.

아. 축 구동 윤활유 펌프 저압 트립 - 축 구동 윤활유 펌프의 토출압력이 설정치 이하로 떨어질 때 압력 스위치가 터빈 트립을 유발한다. 이것은 정격 터빈 속도의 75%이하에서는 작동하지 않는다.

자. 고진동 트립 - 진동 감시 장치로부터의 아날로그 신호가 제한 설정치와 비교되고 베어링 1X/Y~10X/Y의 어떤 한 개의 베어링의 'X', 'Y' 진동값이 동시에 경보 설정치(7mils) 이상에서 1초이상 지속된 후 20개의 감지기중 어느 하나라도 트립 설정치(11mils) 이상에서 3초이상 지속시 트립된다. 고진동 트립 신호가 터빈 발전기 감시기(TGM)에 의해서 Mark-V로 제공된다.

차. 마스터 버튼 트립 - 운전원에 의해 제어반에서 수동으로 터빈을 트립시킬 수 있다.

카. 2개의 속도 신호 상실 트립 - 3개의 속도 채널중 2개가 고장시

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

조속기 제어 계통으로 부터의 내부신호가 터빈을 트립시킨다.

타. 발전기 고정자 냉각수 상실 트립

아래의 4가지 조건중 1개라도 발생하여 70초 이상 유지되면 터빈이 트립된다.

- 고정자권선 냉각수 저유량(1435 L/min 이하)
- 고정자 냉각수 고온(80.3 °C 이상)
- 고정자입구측 냉각수 저압력(2.77 bar 이하)
- 여자기변압기 냉각수 저유량(201 L/min 이하)

직접적인 기계적원인으로 인한 트립은 다음과 같다.

가. 수동 트립 핸들 - 프론트 스탠다드 기계적 트립 계통에서 직접 트립할 수 있는 기계장치.

나. 기계식 과속 트립 - 속도가 정격의 111% 이하에서 터빈을 트립시키는 과속 트립 장치.

다. 고장시 안전한(fail-safe) 기계적 트립 피스톤 - 프론트 스탠다드 트립 장치는 고장시 안전 운전되도록 설계되었다. 만일 터빈 윤활유 압력이 상실되어, 트립장치 내부에 있는 피스톤이 감압되면 기계적 트립 계통에 의해서 트립된다.

10.2.2.4.1 비상 과속 트립

두개의 독립된 다중 과속 트립 계통이 제공되었다.

기계적 과속트립(MOT)은 터빈 축에 설치된 스프링 가압 편심링(eccentric ring)으로 구성되며 터빈 프론트 스탠다드에 위치한다.

이 장치는 유압 트립 계통에 직접 작용하여 증기 밸브를 급속히 닫는다. 전자식 과속계통(EOS)은 3중 계통으로 터빈 프론트 스탠다드에 위치한 3개의 속도 측정기를 통하여 터빈속도를 감지한다. 이들 속도 측정기는 속도제어 기능에 사용하는 것들과는 별도의 것이다. 전자식 과속트립 설정치는 기계식 과속트립 설정치보다 조금 위에 있다. 전자식은 기계식의 백업 기능과 아울러 기계식이 온라인 시험을 위하여 폐쇄(lock out) 되었을 때 기능적으로 기계식을 대체할 수 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

전자식 과속 트립 계통(EOS : EOSR, EOSS, EOST)을 구성하는 전기회로는 제어 컴퓨터(RS&T)와 분리되어 있다. 전자식은 프론트 스탠다드에 위치한 트립 솔레노이드에 의해 동작되며 증기밸브들을 신속히 닫을 수 있다.

10.2.2.4.2 순차적 트립 및 모터링 방지

터빈을 트립시키는 모든 신호는 또한 발전기를 정지시켜야 한다. 터빈 트립후 발전기를 정지시키는 추천된 방식은 순차적 트립회로에 의한 것이다.

이 회로는 모든 증기 밸브 리미트 스위치의 폐접점을 사용하고 발전기 차단기의 자동 개방 허용 조건으로 역전력 계전기를 사용한다. 역전력 계전기는 차단기 개방전에 추기 배관을 포함한 모든 터빈내의 증기가 과속을 일으킬수 있는 증기량 이하로 감소되었는지를 확인한다.

어떤 중대한 전기계통 사고는 사고 감지 직후 발전기 차단기가 즉시 개방될 것을 요구한다. 중대 전기 계통 사고는 발전기 차단기가 발전기 또는 변전소 기기의 심각한 손상을 방지하기 위하여 즉시 개방되어야 하는 사고를 말한다.

역전력 계전기는 3초의 시간 지연을 갖는다. 순차적 트립회로는 어떤 경우 추가의 시간지연이 요구되나 그 결과는 터빈 발전기의 모터링 증가를 초래한다.

발전기는 동기를 유지하기에 충분한 전자장이 작용하는 동안 모터 역할을 하게된다. 모터링은 터빈 배기 후드와 마지막 단 버 을 과열 시킬수 있다. 모든 증기흐름이 차단되면 과열 방지를 위한 배기 후드 냉각수 분무의 효과는 많이 감소된다. 그래서, 모터링을 허용하는 시간 지연은 모터링 중의 복수기 압력에 따른 다음 값으로 제한되어야 한다.

가. 복수기 압력이 4 in.HgA 이하일 경우 : 5분

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

나. 복수기 압력이 4 in.HgA 보다 클 경우 : 90초

순차적 트립회로를 사용하는 어떤 발전기 트립은 더 제한된 시간 지연이 요구된다.

어떤 터빈 트립의 경우에는 급히 속도를 줄이는 것이 요구되며 그러한 경우에는 순차적 트립회로 내에 사용된 추가 시간지연회로를 우회하여 역전력과 밸브 닫힘 후 즉시 발전기 차단기를 개방하여야 한다.

대표적인 이러한 조건은 저진공, 고진동 또는 추력 베어링 손상에 의한 트립이다. 순차적 트립회로는 터빈 트립 사고시 모터링을 방지하기 위한 기능을 제공하지만 그것이 주요기능이 아니라는 것을 인식해야 한다.

순차적 트립은 단일 트립 신호로부터 정상적인 정지를 제공하고 발전기 차단기가 일찍 개방될 때 일어날 수 있는 급격한 속도의 증가를 방지한다.

10.2.2.4.3 증기 밸브 닫힘

모든 증기 밸브는 주정지 밸브와 관련 조절 밸브 또는 중간 정지 밸브와 관련 인터셉트 밸브와 같이 직렬 쌍으로 배열되어 있다. 고압 터빈을 위한 4쌍의 밸브가 있고, 각 저압 터빈을 위한 2쌍의 밸브가 있어 총 10쌍의 증기 유입 밸브를 구성한다. 각 정지 밸브, 조절밸브, 중간 정지 밸브, 그리고 인터셉트 밸브(총 20개)는 2개의 과속 트립 계통 중 하나에 의해 구동된다. 고압 터빈의 4개 조절 밸브와 각 저압 터빈의 1개의 인터셉트 밸브는 또한 조속계통에 의해 조절된다. 한쌍의 밸브중 어느 하나만 차단되어도 증기 발생기로부터의 증기 흐름을 차단하므로, 밸브 한개의 손상은 터빈 과속 트립 기능의 수행을 방해하지 않는다.

10.2.2.4.4 24 볼트 및 125 볼트 직류 트립 계통

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

보조 과속트립과 주/보조 속도 신호의 상실로 인한 트립은 24 볼트 직류 트립 논리 회로 계통에서 시작된다. 이 계통은 보조 과속 트립을 포함하고 있는 터빈의 중요한 트립(vital trip)에 사용된다. 102

125 볼트 직류 트립 계통 역시 사용자 트립과 몇가지 터빈 보호 트립에 사용된다. 심층적 보호 방식으로 ‘교차 트립(cross trip)’ 논리 회로가 적용되는데, 이는 24 볼트 직류 논리 회로에서 발생하는 모든 트립 신호가 125 볼트 직류 계통의 트립을 발생시키고, 반대로 125 볼트 직류 논리 회로에서 발생하는 모든 트립신호는 24 볼트 직류 계통에서의 트립을 발생시키는 것이다. 이들 두 전압 레벨로부터 도출되는 트립 신호는 각각 분리, 독립된 솔레노이드 밸브를 가전시킴으로써 모든 터빈 증기 유입 밸브 구동기로부터 고압 유체를 배출시킨다. 102

10.2.2.5 기타 보호 계통

앞에서 설명된 장치 이외에, 터빈 및 증기 계통의 기타 보호 장치는 다음과 같다.

가. 정지 및 조절 밸브 또는 복합 중간 밸브의 고장 사고 발생시 고압 터빈의 과압 방지를 위해 습분 분리 재열기에 설치한 안전 밸브

나. 최종단의 두 저압 가열기를 제외하고, 터빈 트립시 증기 역류로 인한 터빈 과속을 방지하기 위해 각 추기 배관에 설치한 역류 방지(nonreturn) 밸브

다. 복수기 진공 상실시 저압 터빈의 과압 방지를 위한 배기 케이싱 파괴 격막(exhaust casing rupture diaphragm)

10.2.2.6 발전소 부하 및 부하 추종

터빈 발전기는 기저 부하에서 운전되어 진다. 그러나 핵증기 공급

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

계통 (NSSS)의 과도기 부하 추종 능력과 일치하거나 초과하도록 터빈 발전기를 설계한다. 터빈 제어 계통은 10.2.2.4절에서 기술된 바와 같이 미리 설정된 조건에서 터빈을 트립시킴으로써 터빈을 보호하도록 설계되었다. 터빈은 원자로 트립시에 트립되며, 원자로 보호 계통은 터빈 제어 계통에 2개의 분리된 원자로 트립 신호를 보낸다.

10.2.2.7 검사 및 시험 요구 사항

계통의 주요 기기는 검사를 위한 접근이 가능하며, 발전소 정상 운전시에도 시험이 가능하다, 각각의 터빈 발전기의 제어 및 보호 장치는 정기적으로 시험된다. 기동전에 여러가지의 터빈 트립 계통들이 순서적으로 시험된다.

여러가지 계통 기기의 시험 및 검사를 위한 일정 계획은 13.5절에 기술된 발전소 운전 절차의 한부분으로 되어있다.

10.2.3 터빈 비산물

설계제작 및 공장 시험 절차서를 통해 회전 디스크가 규정된 설계치 이상으로 완전함을 보증한다. 각 터빈 회전자 집합체는 정격속도의 120%에서 과속 시험을 수행한다. 충분한 다중방호 계통이 포함된 정상 조속기 제어계통과 비상 기계 유압식 과속트립계통은 다중 제어를 수행할 수 있으며 각각의 가동중 검사를 통해 신뢰성있는 운전을 보증한다.

정상 조속기 제어계통은 3%의 과속에서 조속기 밸브가 완전히 차단되도록 작동하고, 기계-유압식 과속 트립계통은 10% 과속에서 작동하도록 설정되어 있다.

각 계통은 완전한 다중 방호와 시험가능한 기기들로 구성되며 또한 계통들은 과속시 회전체가 손상되고 일부파편이 터빈 동체를 뚫고 이탈하여 비산

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

물이 되는 것을 방지하기 위하여 충분히 안전한 속도에서만 운전되도록 보증한다.

10.2.4 터빈디스크 건전성

10.2.4.1 재료선택

원전용 터빈에 사용하는 터빈 휠과 회전자는 진공용해 또는 진공탈기한 Ni-Cr-Mo-V의 합금강으로 제작되고 이것은 결함발생을 최소화 시키고 적절한 파단인성을 갖게 한다. 나쁜 성분은 실제 가능한 최소 농도로 조절되며 이것은 이 부품들의 운전조건에 적절한 초기 및 장기간 파단인성을 유지시킨다. 터빈 휠과 회전자 재질은, 일관된 기준에 의해, 사용된 크기 및 강도에서, 물로 담금질된 Ni-Cr-Mo-V 재질로 부터 최소의 파단발생 천이온도(FATT)와 최고의 Charpy V-notch 에너지를 갖는다. 실제의 파단발생 천이온도와 Charpy V-notch 에너지는 부품의 크기와 쓰여진 장소에 따라 변화되며 이러한 변화는 원자력 발전소용 터빈에 사용하는 특정 단조품을 위하여 고려 된다. ASTM A-370 규격에 따른 Charpy시험도 포함한다.

10.2.4.2 파단 인성

적절한 재료 인성은 위에서 설명한 재료를 사용하여 얻어지며 인성과 강도가 적합하게 균형을 갖춘 재료를 생산하여 안전과 동시에 높은 신뢰도, 가동률 및 운전효율을 보장한다.

보어(Bore) 응력계산은 원심력, 간섭끼움과 적용가능한 부분의 열구배를 고려한다. 재료의 파단인성 비율, K_{IC} (각 휠 또는 회전자 재질시험으로 부터 산출된)은 정격으로부터 정격의 115% 속도까지에서의 휠 및 회전자의 최대 접선방향 응력에 대해서 최소한 $3.19 \sqrt{cm}$ ($2 \sqrt{inches}$) 이상이 된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

재료의 적절한 파단인성은 이러한 비율로 유지되어야 하며 이것은 월 및 회전자 생산제품의 재질 시편을 파괴 시험하여 확인된다.

월 및 회전자의 재료온도가 적절하게 파단발생 천이온도 이상인 동시에 위에서 정의된 것과 같이 접선응력에 대한 파단인성 비율을 $3.19 \sqrt{cm}$ ($2 \sqrt{inches}$) 이상으로 유지하기에 충분한 온도가 되게 하므로써 기동시 취성파괴가 일어나지 않도록 터빈 운전절차서에 반영되어 있다.

10.2.4.3 고온 특성

원자력 발전소에서 사용하는 터빈의 고압 회전자의 최대 운전온도는 크리프 파손 범위 아래이다. 그러므로 크리프 파손은 터빈의 수명 기간 중 회전자의 건전성을 보장하는 중요 계수로서는 고려되지 않는다. 기본자료는 실험실 크리프 파손 시험에서 알 수 있다.

10.2.4.4 터빈 디스크 설계

터빈 집합체는 정상조건 및 과속 트립 유발을 포함한 예상 과도상태에서 구조적 건전성의 손상없이 견디도록 설계 되었다. 추천되는 터빈 기동 및 부하 증가율은 고압터빈 첫번째단 부근에서의 온도 차이에 의한 회전체 응력변환 범위를 기준으로 한 수명주기의 감소 조건에 의해서 결정되었다. 터빈 집합체의 설계는 다음의 조건을 만족한다.

가. 원심력, 간섭끼움, 열 구배로 부터 발생하는 월 및 회전자의 최대 접선응력은 정격 속도의 115% 에서 재료 항복강도의 0.75배를 넘지 않는다.

나. 터빈 축 베어링은 정상 운전 부하 및 과속트립 유발을 포함한 예상 과도 상태에서 구조적 건전성을 유지하도록 설계한다.

다. 0속도에서 20% 과속 사이에 존재하는 다수의 터빈축 집합체의 고유 임계 진동수들은 운전중 터빈에 나쁜 영향을 미치지 않도록 설계 및 운전시에 조절한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

10.2.4.5 가동전 검사

가동전 검사 프로그램은 다음과 같다.

가. 월 및 회전자의 단조는 열처리전에 최저허용 수치로 초벌가공한다.

나. 회전자 및 월의 단조제품은 100%체적 (초음파) 검사한다. 마무리 가공 된 회전자 및 월의 표면은 육안검사와 자분 탐상검사를 한다. 위의 시험 결과는 GE사의 허용기준에 따라 평가된다. 이 기준은 ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Sections III&V 의 Class 1 구성품에 대한 적용기준보다 더 엄격한 것으로서, 표면내부의 초음파 표시된 결함들에 대해 이를 제거하거나 또는 이 결함들이 수명기간중 발전소 건전성에 손상을 주는 크기까지 커지지 않음을 보장하도록 평가하는 요구조건을 포함한다. 표시된 결함의 크기는 내부결함의 경우 평평한 바닥 구멍과 같거나 또는 표면의 결함은 페니 동전의 반크기 정도의 균열이다. 이 결함들은 주변의 결함들과 연결될 수도 있으며 이를 포함하여 발전소 수명기간 동안의 영향을 평가한다.

내부 균열이나 표면 균열의 최종 크기는 최악의 조건에서 월이 파손될 가능성을 결정하는 특정한 월 특성을 포함한 Fracture Mechanics 방법으로 평가한다.

다. 마무리 가공된 표면은 자분탐상 검사를 한다. 보어(bore), 구멍, 키홈(keyway) 및 다른 고응력 부분은 자분 탐상에 의한 결함이 없어야 한다.

라. 터빈 날개를 완전히 부착한 각 회전자 집합체는 전부하에서 부하상실 후 예상되는 최대 속도 또는 그 이상에서 회전시험한다.

10.2.4.6 가동중 검사

터빈 집합체 및 밸브의 가동중 검사 프로그램은 육안검사, 주요 표

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

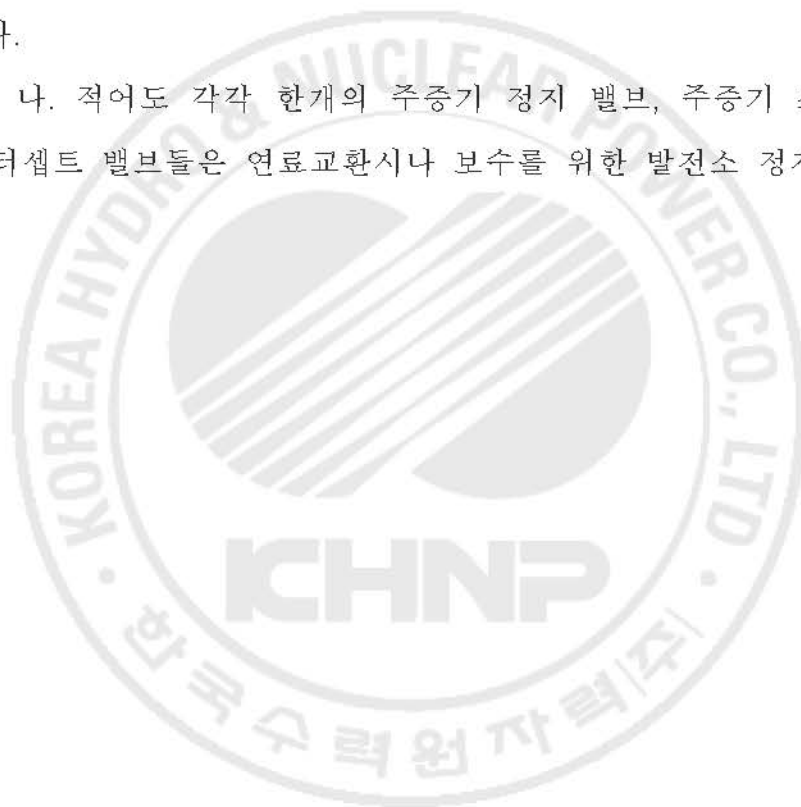
개정 1

1996. 7

면의 자분 탐상 검사, 주요 부품의 초음파 검사와 필요한 곳을 측정하는 것이며 다음 사항을 포함한다 :

가. 터빈 휘일(디스크)는 축으로부터 분리시키지 않고 주요 부분을 가동중 검사하도록 설계 되었다. 터빈의 해체는 최소한 8년마다 계획된 발전소 정지 기간중에 수행한다. 정상운전시 접근할 수 없는 커플링, 커플링 볼트, 터빈 축, 저압 터빈버킷, 저압 휠 및 고압회전자 같은 부품에 대해 육안, 표면, 체적 검사가 수행된다.

나. 적어도 각각 한개의 주증기 정지 밸브, 주증기 조절밸브, 중간 정지밸브, 인터셉트 밸브들은 연료교환이나 보수를 위한 발전소 정지 기간중에 해



월성 3,4호기 최종안전성분석보고서

체하여 밸브 시트나 스템에 대해서 표면 검사와 육안검사를 수행한다. 만일 허용할 수 없는 결함이나 과도한 부식이 발견되면 같은 형의 다른 밸브들도 모두 검사한다. 밸브의 부상은 검사하고 세척하며, 보어 및 스템 직경의 간격이 적절한지를 점검한다.

다. 추기배관에 설치된 체크밸브는 밸브에 장착된 수동 공기 시험 밸브를 사용하여 밸브의 축 및 평형 무게추(counter weight) 연결봉의 움직임을 기동전 및 월 1회 점검한다.

121

10.2.5 평가

터빈 발전기 기기는 일반적인 것으로 다른 원자력 발전소에서도 광범위하게 사용되고 있는 형식이다. 계기, 제어기 그리고 보호장치는 신뢰적이고 안전한 운전을 보증한다. 다중의 신속 구동되는 제어기가 과속 및 전출력 부하 상실시 야기되는 손상을 막기 위하여 설치된다. 제어 계통은 원자로 트립에 따른 터빈 트립을 보장한다. 자동 저압 배기 후드 물 분사는 후드의 과도한 온도 상승을 방지한다. 배기 케이싱 파괴 격막은 복수기 진공 상실 사고시 저압 터빈의 과압을 막는다.

증기 발생기에서 생산되는 증기는 일반적으로 방사능이 없기 때문에 터빈 발전기와 보조기기에 대한 방사능 차폐는 없다. 따라서 정상 운전중 계통 기기 접근시 방사능 영향은 고려하지 않는다. 그러나 증기 발생기 튜브 누설로 인한 1차 계통에서 2차 계통으로의 누설 사고시 주증기가 방사능으로 오염될 수 있으며, 이로 인한 방사능에 관한 사항은 본 보고서 11장과 12장에서 논의된다.

월성 3,4호기 최종안전성분석보고서

표 10.2-1

터빈 발전기 성능 자료

<u>설계 인자</u>	<u>보충 부하시</u>	<u>밸브의 완전 개방시</u>
핵중기 열출력, MWt	2063 *	2269 *
중기 발생기 출구 압력, kg/cm ² A (psia)	47.89 (681)	47.89 (681)
초기 중기 압력, kg/cm ² A (psia)	45.99 (654)	45.99 (654)
초기 중기 온도, °C (°F)	257.5 (495.5)	257.5 (495.5)
주중기 유량, 10 ⁶ kg/hr (10 ⁶ lb/hr)	3.56 (7.84)	3.74 (8.24)
총전기 출력, MWe	714.9	746

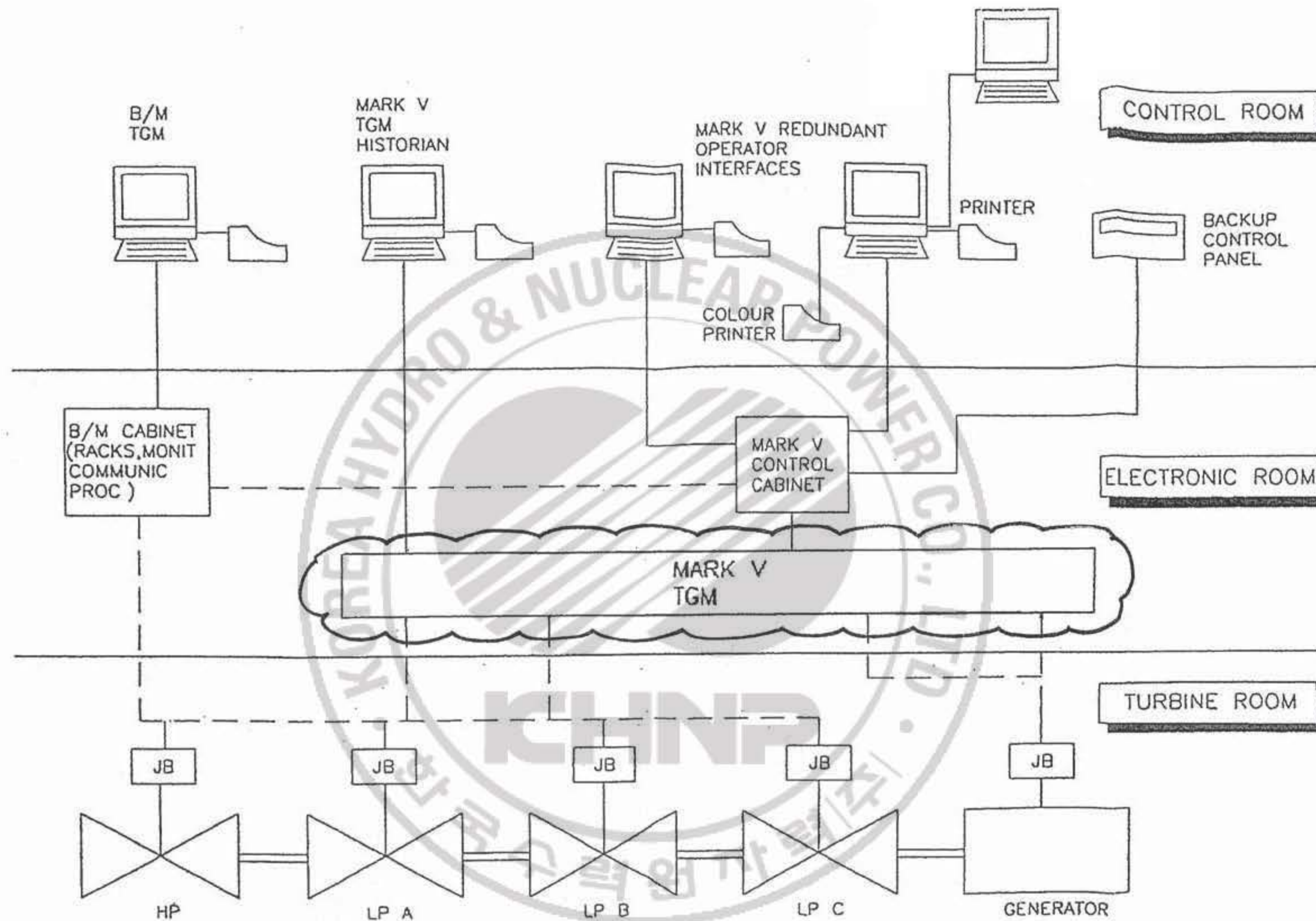
* 터빈 발전기 설계 목적만을 위한 것임

월성 3,4호기 최종안전성분석보고서

표 10.2-2

터빈 발전기 설계 자료

공급자	GE
터빈 형식	TC6F-43" LSB
최종단 버켓 길이, cm (in.)	109 (43)
복수기 배압 설계치 (3개 셀의 평균치), mm(in.) HgA	45.7 (1.8)
재열단의 수	2
급수가열기 수	6
회전 속도, rpm	1800
발전기 보충 출력, MVA	828
발전기 전압, kV	22
출력 계수	0.9
단락비	0.58



NOTES

- 1 JB = JUNCTION BOXES (MORE WILL BE SUPPLIED THAN SHOWN)
- 2 — CABLE/WIRE/EQUIPMENT BY OTHERS
- 3 — CABLE/WIRE/EQUIPMENT BY GE



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

MARK-V 개략 선도
그림 102-1

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

10.3 주증기 공급 계통

주증기 계통은 전력생산을 위해 증기발생기에서 생성된 증기를 터빈 발전기 계통 및 기타 보조계통으로 공급하는 것이다. (그림 10.3-1 및 5.6.6절 참조)

10.3.1 설계 기준

10.3.1.1 안전 설계 기준

가. 사고시(냉각재 상실사고시의 급속 냉각) 핵연료로부터 열을 제거하고 증기발생기 2차측의 과압방지를 위하여 계통에 주증기 안전밸브(MSSV)를 설치하였다.

나. 둘 또는 그 이상의 증기발생기 저수위와 아울러 급수 모관의 저압력시 자동 감압기능이 작동된다. 감압기능은 주증기 안전밸브를 개방시킴으로써 비상급수(EWS)가 보충되도록 하였다. 주증기 안전밸브 자동개방으로 감압이 시작되기전에 운전원으로 하여금 3급이나 4급 전원을 회복시키거나 급수공급이 가능토록 조치할 수 있게끔 하기 위해 경보 및 20분간의 시간지연 기능을 제공한다.

다. 증기발생기 누설사고시 원자로 정지 냉각후 원격/수동으로 주증기 격리밸브(MSIV)를 닫음으로써 증기발생기로 부터 주증기관을 개별적으로 격리시킬 수 있는 기능을 제공한다. 주증기관의 격리로 방사능에 오염된 증기가 대기나 2차측 계통으로 유입되는 것을 최소화 시킬 수 있다.

라. 증기 발생기의 튜브 누설은 경수중 중수누설 탐지 계통을 이용하여 급수, 주증기 및 증기발생기 취출수 샘플을 감시하여 탐지한다.

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

마. 주증기 안전밸브는 증기발생기의 2차측을 급속 냉각시킬 수 있도록 비상 노심냉각 계통의 냉각재 상실사고 신호 (냉각재 계통 저압과 원자로 건물 고압 또는 다른 조건신호들의 조합에 의한 신호)에 의해 일정시간 지연 후 열릴 수 있게하였다. 이는 냉각재 상실사고후 비상 노심 냉각계통이 운전될 수 있도록 냉각재 계통의 감압을 위하여 증기발생기를 급속 냉각시키는 것이다.

바. 격납건물 내에서의 주증기관 파단은 원자로건물 구조에 손상을 주지 않으며 원자로 계통에 중대한 손상을 유발할 정도로 원자로건물의 구조적 건전성에 손상을 주지 않아야 한다.

사. 주증기관이 지나가는 건물 내에서의 주증기관 파단사고시 건물 벽의 붕괴로 인해 안전 관련 기기 및 주제어실에 있는 운전원들에게 피해가 없도록 하였다.

아. 원자로 건물이나 터빈 건물내에서 어떠한 크기의 증기관 파단으로 인해 유발되는 증기로 인해 핵연료로 부터 열제거 기능을 막거나 원자로 보조 건물내에 극심한 환경이 조성되지 않도록 하였다.

자. 주증기 계통에서의 배관 파단으로 인해 AECB C-6에서 요구하는 바와 같이 증기 발생기의 튜브 누설이 없도록 하였다.

10.3.1.2 계통 설계 기준

가. 증기발생기에서 생산된 증기는 터빈 발전기, 터빈 축 밀봉 계통, 2단 재열기 및 탈기기 압력유지를 위한 보조 증기계통, 중수 승급기(D₂O upgrader)용 증기계통(3호기만 적용), 삼중수소제거설비의 보조증기계통(3호기만 적용)으로 공급된다.

나. 주증기 계통에는 증기 발생기 수위 및 압력제어를 위해 필요한 계측기기들을 설치하였다.

다. 발전소 예열 운전중, 주 복수기 사용불능 또는 4급 전원 상실시

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

주증기를 대기로 방출시킬 수 있는 설비를 갖추었다.

라. 터빈 트립이나 송전선 상실 등 2차 계통 불안정 상태시(BOP upsets) 주증기 안전밸브를 개방하거나 원자로를 트립시키지 않고 주증기를 복수기로 직접 방출시킬 수 있는 설비를 설치하였다.

마. 각 증기 발생기에서 시료증기를 채취할 수 있게 하였다.

바. 2차측 계통내에서 증기와 물에 의한 수격 현상을 피할 수 있도록 모든 증기관은 낮은 지점으로 경사지도록 설계하였고 낮은 지점에는 응축수 배수관(drip leg)을 설치하여 응축수가 적절한 증기트랩이나 수위 제어를 통해 제거되도록 하였다.

사. 각각의 증기관에 질소가스 주입을 위한 설비를 설치하였다.

아. 주증기배관 중 최상단부에 배기를 위한 설비를 설치하였다.

자. 대기증기 방출밸브, 복수기 증기 방출밸브, 터빈 부하 제어기 및 원자로 출력은 증기발생기 압력을 제어하는데 사용된다.

차. 증기발생기로 보내지는 급수의 화학적 성분을 엄격히 통제함으로써 급수 및 증기로부터 원자로 냉각재인 중수를 분리시키는 증기발생기 튜브의 건전성을 보호할 수 있도록 하였다.

10.3.2 계통 설명

주증기 계통은 증기발생기에서 생성된 증기를 터빈 발전기 및 보조 계통으로 공급하는 기능을 갖고 있다. 이 계통은 주증기 배관, 주증기 안전밸브, 주증기 격리 밸브, 대기증기 방출밸브 및 복수기증기 방출밸브 등으로 구성되어 있다.

증기 발생기 출구 노즐에서 4.69 MPa(a) (681 psia) 압력과 터빈 정지 밸브 전단에서 4.51 MPa(a) (654 psia) 압력으로 1,033 Kg/s (8.19×10^6

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

lb/hr)의 증기량을 터빈으로 공급한다. 증기발생기 출구노즐에서의 증기온도는 전 출력 정상운전 조건하에서 최대수분함유율 0.25%에서 260°C (500°F)이다.

원자로 정지를 유발하지 않는 과도 현상시 밸브의 떨림이 방지될 수 있도록 주증기 침투압력과 주증기 안전밸브 설정치간에 5% 설계 여유를 갖고 있다.

주증기 안전밸브는 스프링 장착형으로 보조 공기 작동기가 부착되어 있다. 완전 닫힘 상태에서 완전 열림 상태까지의 개방시간은 공기 작동기 또는 스프링 작동에 의해 0.5초를 초과하지 않는다.

주증기 안전밸브의 용량은 4개의 밸브 중 3개의 복합용량이 각 증기 발생기에서 유입되는 증기량의 115%로 되어 있는데, 이는 출력조절이 점진적으로 상실될 때 원자로 출력이 트립되기 전의 115%까지 증가하기 때문이다. 그러나 압력 상승은 이러한 과도 현상시에도 설계압력의 110%로 제한된다.

대기 증기방출밸브의 용량은 정상운전시 증기량의 10%이상이다. 이것은 어떤 불안정 및 비상운전조건시 열제거원으로서 또한 증기발생기 압력제어를 위해 필요한 용량이다. 완전닫힘 상태에서 완전열림 상태까지의 대기증기 방출밸브 개방시간은 2초를 초과하지 않는다. 54

복수기 증기 방출밸브의 용량은 기본적으로 100% 부하상실에 따르는 100% 최대 연속정격에서의 증기량과 같은 용량을 갖는다. 터빈 우회계통은 원자로 출력 70%에 해당하는 증기를 복수기로 연속적으로 방출토록 허용하고 있다. 완전닫힘 상태에서 완전열림 상태까지의 복수기 증기 방출밸브 개방시간은 1초를 초과하지 않는다. 54

주증기 격리밸브는 3급전원이 공급되는 전동기 구동 밸브로서 닫힘 시간은 주증기관내의 증기에 의한 수격 현상을 피할 수 있는 약 2분이다. 주증기 격리 밸브는 증기발생기 튜브누설시 원자로 정지 냉각후 원격/수동 조작에 의해 2

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

증기 발생기로부터 개별 주증기관을 격리시킬 수 있다.

10.3.3 안전성 평가

가. 문서번호 86-03650-SDG-001 "안전 관련 계통"에 따라 냉각재 계통에서 적정 재고량이 유지될 수 있는 사고시 증기발생기 및 주증기 안전밸브는 원자로 정지후 다른 계통 (정지냉각계통, 비상급수계통으로 부터의 급수, 비상노심 냉각계통)등이 장기 열제거원으로서 효과적인 작동을 하게 될 때까지 즉각적으로 잔열 및 붕괴열을 제거할 수 있도록 크기가 결정 되었다. 또한 주증기 안전밸브는 증기발생기의 과압방지 기능을 제공한다.

나. 문서번호 86-03650-SDG-002 "내진분류"에 따라서 증기발생기 노즐에서 주증기 격리 밸브를 거쳐 첫번째 앵커까지의 주증기 배관은 설계기준 내진범주 A로 내진검증 되어있다. 주증기 격리밸브 및 주증기 안전밸브의 배기관도 설계기준 내진 범주 A로 내진검증 되었다. 주증기 안전밸브는 설계기준 지진 사고시에도 작동을 할 수 있도록 설계기준 내진범주 B로 검증되었다. 대기증기 방출밸브는 주증기 안전밸브와 주증기 격리밸브 근처에 위치하기 때문에 대기증기 방출밸브 및 관련 배관은 설계기준 지진시 주증기 안전밸브 및 주증기 격리밸브에 손상을 주지않도록 설계기준 내진범주 A로 내진검증된다. 소음기는 주증기 안전밸브의 운전에 지장을 주지않도록 설계기준 지진시나 또는 지진후 위치가 이탈되지않게 설계된다. 이 계통의 내진검증은 규격번호 CAN3-N289.1-80, "CANDU형 원자력발전소를 위한 내진검증의 일반요건"과 CAN3-N289.3-M81, "CANDU 형 원자력발전소를 위한 내진검증의 설계절차"를 따른다.

다. 문서번호 86-03650-SDG-003 "환경검증"에 따라 주증기 안전밸브, 주증기 격리밸브 및 관련기기 (엑츠크에이터, 솔레노이드밸브, 리미트스위치등)들은 이러한 밸브 주변에서 주증기관 파단사고에 의해 유발되는 극심한 환경에서

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2

1996. 10

도 그 기능을 다할 수 있도록 환경적으로 검증된다. 주증기 안전밸브는 사고시 열제거원으로서의 기능과 증기 발생기에 대해 과압을 방지할 수 있는 기능이 요구된다. 주증기 격리밸브는 열전달 펌프모드에서 정지냉각계통이 가동된 후에 열전달 계통으로부터 증기발생기 튜브 누수를 통해 방사능 물질의 유출을 최소화 하는데 사용될수있고 1차계통의 출구헤더에서 지속적인 냉각 상태를 유지하기위해 위와 같은 방식으로 감압된다.

증기발생기 튜브 파열은 심각한 환경 조건을 초래치 않기때문에 사고시에 이러한 밸브들의 환경검증은 요구되지 않는다. 주증기 안전밸브는 냉각재 상실사고시와 사고후에도 작동하여야 한다. 그러나 이러한 밸브들은 원자로건물 밖에 위치하기 때문에 냉각재 상실사고에 대한 환경 검증은 요구되지 않는다.

각 주증기 안전밸브에 대한 공기공급은 해당밸브에만 공급되는 공기 탱크에 의해 보완된다. 이러한 공기 탱크 및 관련 기기는 탱크 주변에서 주증기관 파단사고에 의해 유발되는 극심한 환경에서도 그 기능을 할 수 있도록 환경적으로 검증되고 있다.

대기 증기 방출 밸브들과 복수기 증기 방출 밸브들은 안전 관련 기능이 없기 때문에 환경 검증이 요구되지 않는다. 증기 발생기 수위를 냉각재 상실 사고 또는 주증기 배관 파단 사고후 최소 15분간 자동 제어하는 데 필요한 계측기 및 제어 계통은, 사고시 증기 발생기의 열제거 능력을 확실히 하기 위하여 환경 검증되었다.

라. 문서번호 86-03650-SDG-004 “그룹 및 분리요건”에 따라 주증기 안전밸브는 사고시 증기발생기로 부터 대기로 열제거 기능을 제공하고 있다. 주증기 안전밸브 및 격리밸브는 그룹 1 계통 기기로 간주된다.

마. 문서번호 86-03650-SDG-005 “화재방호”에 따라 충분한 화재방호 설비를 갖추어 열제거원이 노심으로부터 붕괴열을 제거할 수 있도록 하고 원

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

자로건물 경계가 유지될 수 있도록 하고 있다.

바. 문서번호 86-03650-SDG-006 “원자로건물 경계의 연장”에 따라 원자로건물 경계의 부분을 형성하는 주증기 계통은 CAN3-N285.0-M81 “CANDU



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

형 원자력 발전소의 압력유지계통 및 기기에 대한 일반요건”과 CAN/CSA-N285.3-88 “CANDU형 원자력 발전소 원자로건물 계통기기에 대한 요건”에서 요구하는 조건을 만족한다. 이러한 원자로건물 경계 연장부들은 AECB 문서번호 R-7 “CANDU형 원자력 발전소의 원자로건물 계통에 대한 요건”을 만족시킬 수 있도록 설계되었다. 내진검증은 문서번호 86-03650-SDG -002에 따른다.

10.3.4 2차 계통수 화학처리

화학처리계통은 복수/급수 계통에 정해진 조절 가능한 양의 화학 물질을 주입하기 위해 필요하다. 이것은 가끔 사용하는 인산염을 포함해서 전회 발생 물질 처리 방법이다.

인산나트륨은 증기 발생기로부터 불순물을 제거하기 위하여 고나트륨 이온 농도 일때 주입된다. 1중과 3중 인산나트륨은 요구되는 나트륨과 인산염 이온 평형을 유지하기 위해 조절된 비율로 주입된다. 9.3.4.3.3항과 10.6.4항을 참조.

전회발생 물질 처리는 부식과 오염을 최소화하고 아래와 같은 방법으로 증기 발생기로 불순물이 흘러가는 것을 줄이기 위해 급수화학 성분을 제어 유지한다.

- i) 증기 발생기의 물에 무기질의 소금함량 조절
- ii) 급수 PH 조절
- iii) 용존 산소함량 억제

증기 발생기와 급수 계통에 적절한 PH수치를 유지하여 부식을 최소화하기 위해 아민계열의 몰포린이 주입된다. 하이드라진이 용존산소 제거에 사용되고 복수 계통에서 부식 억제제로도 유용하다. 위 화학물질들은 주복수 펌프의 하단에서 연속적으로 주입된다. 필요시에는 보조 복수 펌프 출구에서 화학물질이

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

주입 될 수 있다. 인산염 주입 계통의 사용은 증기 발생기물로 유입되는 잠재적인 부식성 종류를 방지하기에는 비현실적이라는 것이 인정된다. 그러한 종류의 효과로부터 보호하기 위해 비 부식성 화학물질인 제 1 및 제 3 인산나트륨이 아주 드문 경우이지만 급수의 화학성분이 심각하게 비정상인 경우에 완충제 역할을 하도록 사용된다. 이것은 인산염 형태로 칼슘이온이나 마그네슘 이온의 침전을 야기시키나 급수의 공칭 용량의 0.1%로 정해진 증기 발생기 취출에 의해서 쉽게 제거될 수 있다.

각 화학 약품은 급수 혹은 보조급수 펌프의 후단으로 이들 펌프중 적어도 한대가 운전할때 필요에 따라 급수 계통으로 분리되어 주입된다. 화학 처리 계통은 급수에 녹아있는 용존산소 함량조절에 사용되는 하이드라진, PH조절을 위한 몰포린, 증기발생기의 불순물 조절을 위한 인산염 저장 탱크를 포함한다.

화학물질들은 정왕복 다이어프램 미터링 펌프에 의해 적절한 위치에서 급수/응축수 계통에 주입된다. 급수/응축수 계통의 화학작용은 아래의 제한 범위 내에서 유지되어야 한다.

가) 계통에 구리가 없기 때문에 pH는 > 9.4 , ≤ 10.0 최적치는 > 9.6 , ≤ 10.0 을 유지해야 한다. 현장경보와 주제어실 경보는 pH가 9.4 이하로 떨어지면 울린다. 나) 탈기기 입구에서 용존 산소는 $10\mu\text{g/kg}$ 이하로, 급수펌프 후단에서는 $5\mu\text{g/kg}$ 이하여야 된다. 현장경보와 주제어실 경보는 응축용존산소가 이 수치를 초과할 때 울린다.

다) 나트륨 농도는 $1\mu\text{g/kg}$ 를 초과해서는 안되며, 복수기 집수정 출구에서나 복수 펌프 출구에서의 응축수 농도가 이 수치를 초과할 때 현장경보와 주제어실 경보가 울린다.

라) 복수기집수정 출구에서 응축수 전도도는 $0.6\text{ms/m} \sim 2.5\text{ms/m}$ 를

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

유지해야 한다. 이 수치를 넘어선 전도도의 상승은 거의 복수기 튜브파열로 인한 해수의 누설에 의한 것이다. 이렇게 상승한 전도도 상태를 알리기 위해 현장 경보와 주제어실 경보가 울린다.

마) 증기 발생기 취출수의 전도도는 0.6~2.0ms/m를 이내로 유지해야 한다. 2.0ms/m를 초과한 전도도의 상승은 증기발생기중 1대에 문제가 있다는 지시이다. 전도도의 상승을 알리기 위해 현장 경보와 주제어실 경보가 울린다.

바) 하이드라진 허용기준은 50~200 $\mu\text{g/kg}$ 이다. 이 범위를 넘어선 하이드라진 함량 감소는 계통이 저함량임을 나타낸다. 하이드라진의 저함량은 증기발생기로 들어가는 용존 산소의 양을 높이고 부식을 초래한다. 하이드라진 저함량 상태를 알리기 위해 현장경보와 주제어실 경보가 울린다. 한편 고함량은 과다 산소 제거를 하게 되어 비경제적이며 하이드라진 측정기록을 주기적으로 점검해야 한다.

사) 탈기기 출구나 주증기(증기발생기 1/2/3/4) 출구에서 실리카 함량은 1000 $\mu\text{g/l}$ 를 초과하면 안된다. 증기 발생기에서의 실리카 존재는 증기발생기의 효율을 감소시키는 증기발생기 튜브 내부에 스케일 형성을 야기할 수 있고 심각한 조기 튜브파열을 일으킬 수도 있다. 또한 실리카가 터빈까지 들어가게 되면 터빈 날개에 쌓일 수 있고, 고르지 못한 침적물이 쌓여 불평형으로 인해 날개 파손까지 초래할 수 있다. 이러한 실리카 함량 상승 상태를 알리기 위해 현장 경보와 주제어실 경보가 울린다.

10.3.5 증기와 급수계통 재질

원자로건물 내부 급수 배관과 증기발생기로부터 주증기 안전밸브 상류 분기점을 포함한 주증기 격리 밸브까지 모든 증기배관은 CSA N285.0, Class 2요건, 나아가 참조로 미국 기계기술자 학회 (ASME) 보일러 및 압력용기

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

규정의 Section III, Class2에 따라 설계, 제작, 설치, 시험 되어야 한다.

원자로 건물 내부 주증기 배관은 표준 벽두께 1.072 in(27.22mm)인 탄소강 SA106 grade B이다. 원자로 건물 내부 급수배관도 탄소강 SA106 grade B이다. 원자로 건물외부, 주증기 안전밸브와 주증기 격리밸브는 class 2로 분류된다. 대기증기 방출밸브는 class 6로 등록되어 있으나 Class 2 요건으로 설계, 제작된다.

주증기 안전밸브와 대기증기 방출밸브의 배기관, 주증기 계통의 나머지 급수펌프와 원자로 건물사이 급수계통은 class 6로 분류, 등록된다.

주증기 계통과 위에서 언급한 급수관의 나머지에 대한 배관 재질은 탄소강 ASME SA 106 Grade B 와 C이다.

이들 계통중 원자로 건물 부분의 더 자세한 것은 5.6.6항에서, 추가 급수 계통의 자세한 내용은 10.5항에 언급되어 있다.

급수 펌프 날개와 가열기 튜브는 스테인레스강으로 제작되고, 복수기는 튜브를 티타늄으로, 탱크, 밸브, 가열기, 펌프와 같은 복수 및 급수계통 기기는 탄소강으로 제작된다.

10.3.6 시험 및 검사요건

주증기 격리밸브는 발전소 정지 기간동안 밸브의 열림과 닫힘에 대한 조작 시험을 하고, 발전소를 기동시키기전에 밸브들에 대해 닫힘 소요시간을 시험한다.

주증기 계통의 안전관련기기인 밸브 및 배관은 가동전과 가동중 검사 및 시험이 가능하도록 설계 및 설치된다.

계통의 모든 기기의 기밀도 및 구조적 건전성은 계통의 연속운전을 통해 증명된다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

주종기 계통 흐름도
그림 10.3-1

064031921042344

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 2

1996. 10

10.4 복수 계통

10.4.1 복수기

복수기는 증기사이클의 열제거원이다. 정상운전동안 터빈배출증기를 받아서 응축시킨다. 비정상운전동안에는 복수기 증기 방출밸브로부터 우회증기를 받는다. 복수기는 다른 기타 증기사이클의 증기, 배수, 배기(vent)도 받는다. 그림10.4-1 참조

복수기는 정상적인 발전소 운전정지시 원자로 냉각 초기에 열제거원 역할을 한다.

10.4.1.1 설계 기준

10.4.1.1.1 안전 설계 기준

복수기는 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.1.1.2 계통 설계 기준

가. 복수기는 터빈과 기타 사이클 흐름들로 부터의 배출증기에 대한 열제거원이 된다.

나. 복수기는 정상 또는 비정상 운전시 부하변동 (load excursions) 동안 요구되는 완충 용량을 위한 집수정을 가지고 있다.

다. 복수기는 단기간 동안 (보통 10분) 은 100%의 정격 주증기 유량을 받아들일 수 있으며, 터빈 우회운전 기간에는 제논 과다 정지를 막기 위해 원자로 출력의 70%에 해당하는 유량

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

을 받아들인다.

라. 복수기는 10.4.2절에 기술된 복수기 공기배출계통을 통해 응축 증기로 부터 비응축성가스를 방출한다. 복수기는 또한 어떠한 정상 운전조건에서도 산소함량이 14ppb를 넘지 않도록 복수를 탈기시킨다. 이로써 2차계통 내의 침식 및 부식발생을 최소화한다.

10.4.1.2 계통 설명

복수기는 3대의 분리된 동체로 설계된다. 각 동체는 3개의 저압터빈 배기구(exhausts)중 하나와 팽창이음으로써 연결된다. 각 동체 내부의 관들은 터빈 종축을 횡단하는 방향으로 배열된다.

복수기에 포함되는 항목들은 다음과 같다.

- 관다발, 관판 및 관 지지물
- 수실
- 동체, 복수기 목 및 집수정
- 터빈 우회배관용 노즐 입구(inlets)
- 계기 및 부속품
- 스폰지 불 관세정 계통

복수기 동체는 분리된 수실을 갖고있다. 각 동체에는 두개의 관다발이 각각의 수실에 연결되어 있다. 각 동체는 길이방향으로 두개의 집수정으로, 수직의 분리판(vertical part plate)에 의해 분리되어 있다. 복수펌프는 이 집수정으로부터 흡입한다. 검사시 동체 내부로 드나들 수 있도록 되어 있다.

복수기는 바닥에 견고하게 지지되어 있고, 터빈 배기구에는 "Dog-Bone"형의 팽창이음쇠로 연결되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

복수기 관의 재질은 티타늄이며, 관판 재질은 티타늄을 입힌 탄소강이다. 복수기 동체는 단일 관판으로 설계되어 있다. 관은 관판에 로울러 팽창 후 밀봉용접(rolled and seal welded)한다.

복수기 집수정은 정상시 3분간의 정격 복수유량에 해당하는 용량을 갖는다.

복수기와 터빈배기후드를 과압으로부터 보호하기 위해 파열격막(rupture diaphragm)을 설치한다.

정상운전동안 배기증기는 저압터빈으로부터 터빈케이싱 바닥의 배기구통을 통해 복수기 동체로 연직방향으로 내려간 뒤 응축된다. 복수기는 또한 급수가열기 배수, 배기(vents), 터빈축 밀봉, 기타 배수들을 받는다.

발전소 운전 정지후 초기 냉각기간동안 복수기는 터빈 우회 계통을 통해 증기발생기의 잠열을 제거한다.

복수기는 원자로출력의 70%에 해당하는 우회방출증기를 연속적으로 처리할 수 있다.

전부하운전중 터빈이 트립된 초기에는 복수기 배압을 터빈의 허용 배기압력을 넘는 터빈경보 설정점 까지 증가시키지 않으면서 주증기유량의 100%를 우회방출시킬 수 있다.

집수정을 나오는 복수를 감시하프로서 복수기로의 냉각수 누설을 감지하여 주제어실로 경보를 보낼 수 있다. 이 정보내용은 어느 관다발에서 누설이 있는지를 결정할 수 있게 해준다. 이로써 특정 관다발을 격리, 배수하여 누설관을 관막음(plug)할 수 있다.

집수정에는 수위조절 기능이 있어 집수정의 정상수위를 유지하기 위한 복수의 자동보충 및 배출이 가능하다. 집수정이 고수위인 경우에는 복수는 복수기로부터 복수저장탱크로 배출된다. 집수정이 저수위이면 복수는 복수 저장

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

탱크로부터 복수기로 공급된다. 또한 순수 저장탱크로부터 복수기 집수정으로 비상보충수를 공급하는 설비도 있다.

복수기로 누입된 비응축성 기체와 공기는 복수기 공기배출 계통에 의해 제거된다.

10.4.1.3 안전성 평가

복수기는 안전기능 및 안전성 평가 요구조건에 해당되지 않는다.

10.4.1.4 시험 및 검사

복수기 동체는 조립후에 정수력학적으로 시험을 한다. 복수기 동체, 집수정, 수실에는 검사 또는 보수를 위해 드나들 수 있는 개구부(opening)가 있다.

10.4.1.5 제기 적용 (복수기)

복수기 집수정 수위는 감시되고 복수를 복수 저장 탱크로부터 보충 받고 또한 배출함으로서 자동적으로 제어된다. 비상 보충수는 순수 저장 탱크로부터 충당된다. 복수기 수위는 현장과 주제어실에서 표시된다. 정상 복수기 수위에서 610 mm 이상 고수위와 102 mm 이하 저수위시 주제어실에서 경보가 울린다. 복수기 압력은 감지되며 고압시 주제어실에서 경보가 울리고 터빈이 정지된다 (7.6.2.5.2.8항 참조).

각 집수정에서 나가는 복수의 전도도는 시료채취 되고 감시된다. 이것은 복수기 튜브손상을 감지하고 위치를 알 수 있게 한다. 복수기 온도는 주 제어실 경보와 지시등과 함께 복수기 집수정에서 감시된다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

10.4.2 복수기 진공계통

10.4.2.1 설계 기준

10.4.2.1.1 안전 설계 기준

복수기 진공계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.2.1.2 계통 설계 기준

복수기 진공계통은 비응축성 가스를 연속적으로 제거함으로써 동체 측 진공을 생성, 유지하도록 설계하였다.



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.4.2.2 제통 설명

복수기 진공계통은 정상운전을 위한 50%용량의 진공펌프 3대와 기
동시 사용하는 호강펌프 1대로 구성된다.

진공계통은 미국 열교환협회 (Heat Exchange Institute)의 “복수
기 기준(Standard for Steam Surface Condenser)”에서 추천한 용량 이상이다.

터빈밀봉을 끝낸 후 복수기와 저압터빈 케이싱으로부터 공기를 제
거하기 위하여 처음에는 4대의 진공펌프가 모두 운전된다. 정상운전시에는 복수
기의 진공상태를 설계치로 유지하기 위하여 50% 용량의 펌프 3대중 2대 또는 1 54
대가 운전된다. 비정상적인 복수기 진공 상실시에는 대기 펌프도 운전된다. 압
력이 약 64 mmHgA(2.5 in.HgA)에 달하면 주 제어실에 복수기 고압경보가 발생한 102
다. 만일 복수기 진공계통이 복수기 압력을 191 mmHgA(7.5 in.HgA) 이하로 유
지하지 못하면 터빈은 트립된다.

복수기 진공계통은 또한 터빈우회계통이 운전되는 동안에도 비응축
성 기체를 제거할 수 있도록 설계된다. 복수기 진공계통과 복수기의 기능이 상실
된 경우, 증기발생기로 부터의 열제거는 대기증기 방출밸브와 주증기 안전밸브에
의해 수행된다.

10.4.2.3 안전성 평가

복수기 진공계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.2.4 시험 및 검사

복수기 진공계통은 운전전에 적용 가능한 규격 및 기준에 의해 시
험과 검사를 한다. 주기적인 가동중 시험 및 검사는 계획 예방정비 기간중 수행
한다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

대기중인 기기는 그 가용성을 확인하기 위해 주기적으로 순환운전한다.

10.4.2.5 계기 적용 (진공 계통)

진공펌프는 주제어실에서 제어되고 복수기 진공 형성시 기동용 진공펌프가 초기에 압력을 낮추다가 5"(127mm) HgA에 도달되면 자동으로 정지되고 그 후 진공형성은 복수기 진공유지펌프가 담당하여 5"(127mm)HgA이하로 유지시키며 압력지시계는 주제어실에 있다. 진공 유지 펌프나 진공 파괴 밸브가 비정상 조작 스위치 상태이거나 필요로 할 때 돌지 않는 펌프와 같은 경우 주제어실에 비정상 계통 운전 경보가 제공된다.

배기가스 배출관에 설치된 2차측 방사선 감지기는 증기 발생기 튜브 손상 감지시에 자동적으로 작동한다. 작동된 방사선 감시를 운전원이 정상 복구 시키기 전까지는 복수기 배기가스로 부터 누출되는 방사능은 계속 감시된다.

10.4.3 터빈 축 밀봉 계통

터빈 축 밀봉 계통은 터빈내부에서 외부로 증기가 유출되는 것과 외부에서 터빈 내부로 공기가 유입되는 것을 방지 한다.

10.4.3.1 설계 기준

10.4.3.1.1 안전 설계 기준

터빈 축 밀봉계통은 안전기능을 갖지 않는다.

10.4.3.1.2 계통 설계 기준

가. 터빈 축 밀봉 계통은 터빈 케이싱에서 외부로 증기가 유출되는

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

것과 외부에서 터빈 케이싱 내부로 공기가 유입되는것을 방지하도록 설계 되었다.

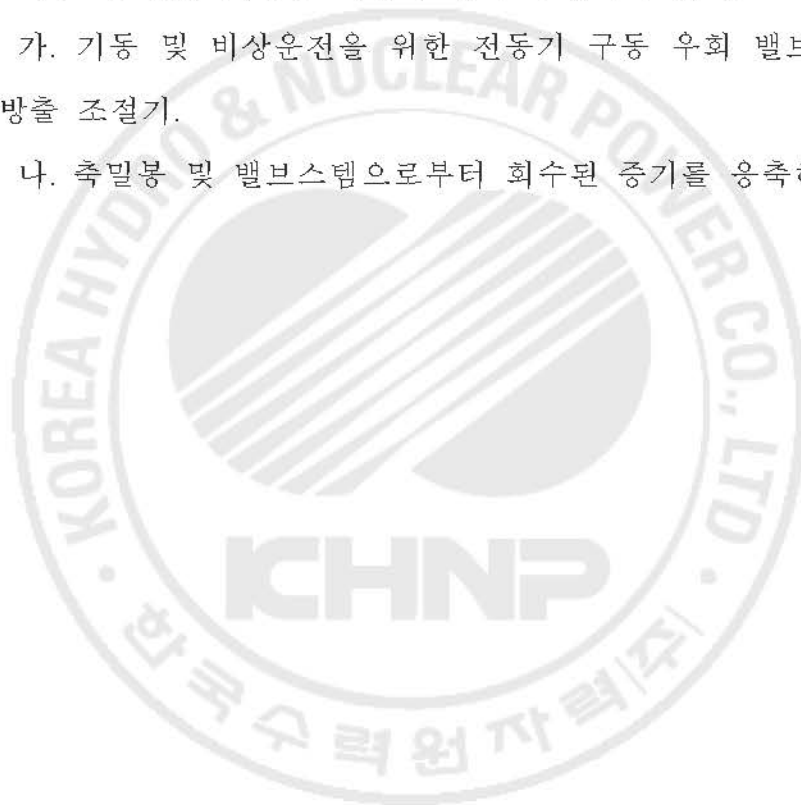
나. 터빈 축 밀봉 계통은 누출증기를 응축하여 복수기로 회수하며
비용축성 기체는 대기로 배출한다.

10.4.3.2 계통 설명

터빈 축 밀봉 계통은 다음과 같이 구성되어 있다.

가. 기동 및 비상운전을 위한 전동기 구동 우회 밸브를 가진 증기
자동공급 및 방출 조절기.

나. 축밀봉 및 밸브시스템으로부터 회수된 증기를 응축하기 위한 1대



월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

의 100% 밀봉 증기 응축기와 2대의 기포 추출기(vapour extractor).

다. 증기공급, 배출 및 배수를 위한 배관, 밸브 및 보조설비

밀봉증기는 저부하 운전시에는 주증기 모관으로부터, 정상운전시에는 추기계통으로부터 증기를 받아서 감압밸브를 통해 공급된다. 터빈 축밀봉 및 밸브시스템에 사용된 증기는 회수되어 밀봉 증기응축기에서 응축되며, 응축수는 복수기로 배수된다. 정상적인 증기공급이 불가능하면 밀봉증기는 보조 증기공급원으로부터 공급된다.

저부하 운전시의 밀봉 증기는 주증기조절 밸브의 고압 누출 연결부와 주증기계통에서 고압 및 저압 터빈 축 밀봉을 위해 공급된다. 어떤 일정 부하 후에는 고압터빈축의 밀봉을 하기위한 증기의 요구량은 감소된다. 어느 일정한 부하에서부터는 고압 축밀봉에서의 증기량은 사용량보다 누출량이 많아지게 된다.

고압터빈의 밀봉 증기압력을 일정하게 유지하기 위해 여분의 증기는 복수기로 직접 보내진다.

밀봉 증기 응축기의 결함시에는 밀봉 증기모관 압력을 유지하기 위해 전동기 구동 우회밸브가 열리고 수동으로 조절된다.

밀봉 증기 응축기의 진공상태를 유지하기 위해 한대 또는 두대의 송풍기가 운전된다. 두대의 송풍기가 모두 상실되면 일부의 증기가 밀봉을 통해 터빈 내부로 인입되어 터빈 정지의 원인이 된다.

10.4.3.3 안전성 평가

터빈 축 밀봉계통은 안전 기능을 갖지 않는다.

10.4.3.4 시험 및 검사

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

이 계통은 계속적으로 운전되므로 운전원은 항상 운전상태를 감시하여야 한다.

10.4.3.5 계기 적용 (터빈 축 밀봉 계통)

증기밀봉 누설 밸브와 주증기 헤더 및 보조증기 헤더로 부터 증기를 공급하는 밸브로 신호를 보내어 증기 밀봉 헤드 압력을 21~34 KPa(g)로 유지하는 압력 조절기가 설치되어 있다. 또한 현장과 제어실에는 디스플레이가 있고 이것은 증기 밀봉 헤더의 압력, 온도, 유량을 감시하는 지시, 경보 장치로 구성된다.

10.4.4 주증기 우회계통

10.4.4.1 설계 기준

10.4.4.1.1 안전 설계 기준

주증기 우회 계통은 안전기능을 갖지않는다.

10.4.4.1.2 계통 설계 기준

주증기 우회 계통은 다음의 기능을 수행할 수 있도록 설계되어 있다.

가. 원자로를 트립시키거나 주증기 안전밸브를 개방함이 없이 모든 규모의 부하 상실을 수용한다.

나. 안전밸브의 개방을 방지할 수 있도록 핵증기 공급계통의 열적조건을 제어한다.

다. 고온 영 출력 조건에서 핵증기 공급계통을 유지할 수 있다.

라. 터빈 동기화 기간 등 원자로 출력이 터빈 출력보다 더 클 경우에 핵증기 공급계통의 열적조건을 제어한다.

마. 복수기 연동장치를 제공하여 복수기 진공이 적정치 않은 상태에서 복수기 증기방출 밸브가 열리는 것을 억제한다.

10.4.4.2 계통 설명

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

주증기 우회계통은 12개의 복수기 증기방출밸브, 관련 배관 및 복수기내의 증기 분배기들로 구성되어 있다. 복수기 증기방출 밸브는 터빈트립시 복수기로 증기를 방출하여 증기압의 상승을 제어하는 기능을 가지고 있다. 주증기 우회계통은 100% 최대연속정격 출력의 증기를 10분간 받아들일 수 있게 설계되었다. 원자로 출력의 70%보다 작은 증기유량에 상응하는 터빈 부하보다 높은 원자로 열출력을 유지할 필요가 있을때 과도한 증기 유량은 복수기 증기 방출 밸브를 통해 조절된다. 증기방출(dump) 계통은 10,000회의 방출에 견디도록 설계되었다. 그림 10.4-2 참조.

복수기 증기 방출밸브는 공기 작동식으로서 복합 용량은 정격 주증기 유량의 100% 용량이다. 밸브들은 정상운전시 증기발생기 압력조절 프로그램에 의해 조정되나 원격 또는 현장수동조작도 가능하다.

증기우회 제어계통의 급속열림 신호에 따라 이 밸브들은 1초내에 열리고 또한 5초내에 닫히도록 설계되어 있다.

10.4.4.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련 계통이 아니다.

10.4.4.4 시험 및 검사

주증기 우회 계통이 시운전되기 전에 모든 밸브의 열림 및 닫힘 시간을 확인하는 시험을 거친다. 모든 계통배관은 관련 규격 요건에 따라 시험 및 검사를 받는다. 모든 배관 및 밸브는 가동중 검사를 하기위해 쉽게 접근할 수 있다. 각 우회밸브에는 복수기 입구측에 격리밸브가 설치되어 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

개정 1

1996. 7

10.4.4.5 계기 적용 (터빈 우회 계통)

정상운전시 복수기 증기 방출 밸브는 발전소 전 제어계통의 일부인 증기 발생기 압력조절 프로그램에 의해 제어된다. 7.6.2항 참조. 프로그램이 고장인 경우 또는 시험 목적으로 복수기 증기 방출 밸브를 수동으로 작동할 수 있다. 복수기 진공 불량, 증기발생기 고수위, 컴퓨터 이중 고장 혹은 4급 전원 상실시 복수기 증기 방출 밸브는 닫힌 상태로 작동 정지되고 열람이 방지된다. 밸브들의 리미트 스위치 신호들은 경보와 제어 목적으로 발전소 전산기로 전달 된다.

1




본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국수력원자력(주)
	월성원자력 3,4호기
	최종 안전성 분석 보고서
주중기 우회제봉 흐름도	
그림 10.4-2	

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

10.5. 급수 가열 계통

10.5.1 일반 사항

급수가열계통은 다음과 같은 기기들을 포함하고 있다.

가. 주 복수펌프 및 보조복수 펌프

나. 재생 급수 가열기와 탈기기

다. 주급수 및 보조급수 펌프

라. 계통을 구성하는 배관 및 밸브와 이를 위한 강제 구조물 및

지지물

마. 보온재 및 페인트

바. 계측기 및 기타 부속기기들

주 복수 펌프는 100% 용량으로 2대, 주 급수 펌프는 50% 용량 3대가 있다.

급수 계통은 통합된 배수냉각부를 갖춘 2개의 고압급수 가열단, 탈기기와 배수냉각부를 갖춘 3개의 저압급수 가열단으로 구성된다. 각각의 급수 가열단은 2개의 가열기로 구성되며 이것은 각각 독립된 급수 가열회로를 제공하고 가열기 보수작업시 터빈 발전기 출력에 대한 영향을 줄일수 있게 한다.

통합 배수냉각부를 갖춘 가열기들은 터빈 블록(turbine block)의 양쪽에 위치하며 U-튜브형 수평식 열교환기이다.

응축된 추기는 1대의 가열기 동체에서 다음 낮은 단의 가열기 동체로 흐르며 증기 발생기 급수로 남은 열을 전달한다. 저압 가열기의 마지막 배수는 복수기 집수정으로 보내지며 고압 가열기의 배수는 탈기기 저장 탱크로 보내진다.

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

급수는 주급수 펌프에 의하여 원자로 건물내에 있는 증기발생기로 보내진다. 마지막 급수 가열기 출구측 급수의 정상운전 온도는 186.7°C (368 °F) 이다.

3급 전원에 연결된 보조급수펌프는 탈기기 저장탱크로부터 증기발생기에 급수한다. 3급 전원에 연결된 보조복수펌프는 복수기 집수정의 복수를 탈기기에 공급하며 복수기 집수정은 순수 저장탱크로 부터 물을 보충받는 복수저장탱크로 부터 복수를 보충 받는다.

물에 의한 수격현상을 막기위하여 다음 사항이 고려되었다.

가. 모든 증기관은 낮은 지점으로 경사지게 하였고, 낮은 지점에는 응축수를 제거하기 위하여 응축수 배수관(drip leg)과 적절한 증기트랩이나 수위 조절밸브를 설치하였다.

나. 펌프의 출구측 배관에 사용하는 체크밸브는 특별히 고려하여 선정하였으며 종래의 스윙체크밸브를 급속작동 경사디스크 체크밸브(fast acting tilting disc check valve)로 교체하였다.

10.5.2 재생 급수 가열 계통

재생 급수 가열 계통은 복수를 증기발생기로 공급하기전에 요구되는 온도까지 가열하는 기능을 갖고 있다. 이 계통은 급수가열기, 추기계통, 급수가열기 배수 계통 및 급수가열기 배기계통으로 이루어져 있다.

관련 계통 흐름도는 그림 10.5-1(1/4)추기계통, 그림 10.5-1(2/4)저압급수가열기 배수계통, 그림 10.5-1(3/4)고압급수가열기 배수계통 및 그림 10.5-1(4/4)배기계통이다.

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

10.5.2.1 설계 기준

10.5.2.1.1 안전 설계 기준

탈기기를 제외한 여타의 기기 및 계통에는 안전관련 기능이 없다. 탈기기에 대해서는 10.5.3절에 기술되어 있다.

10.5.2.1.2 계통 설계 기준

가. 추기계통은 급수가열기를 통해 흐르는 복수를 가열시키기 위해 필요한 증기를 터빈의 추기단에서 급수가열기 동체로 보낸다. 마지막 가열기를 떠나는 급수의 최종온도는 186.7°C 이다.

나. 추기계통에는 터빈트랩시 과속도로 부터 터빈을 보호하고 잠재된 에너지를 제한하기 위하여 체크밸브를 (자유스윙 및 동력보조 체크밸브) 설치하였다. 또한 추기관에는 응축수가 터빈으로 유입되는 것을 막기 위해 전동기 구동 격리밸브를 설치하였다.

다. 터빈 추기단과 체크밸브간의 낮은 지점에는 응축수가 터빈으로 유입되는 것을 방지하기 위해 자동배수 설비를 설치하였다.

라. 모든 급수가열기 배수 계통은 ASME에서 발행한 TWDPs-2 "Recommended practices for preventing water induction into turbine generators" (참고 문헌 10.7-3)에 명시된 지침에 따라 설계하였다. 이 계통의 고압 가열기와 복수기 사이의 배관은 2상 유체 흐름이 되어 수격 현상이 일어나기 쉬우며 이것을 방지하기 위하여 공동현상(cavitation)을 고려한 제어밸브가 선정되었고 배관 면적도 증가시켰다.

마. 모든 급수가열기 배기 계통은 급수가열기의 기동 및 정상운전 시 적절한 배기 기능을 제공하고 비응축성기체를 복수기를 통하여 제거할 수 있

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

도록 설계하였다.

10.5.2.2 계통 설명

급수가열 계통은 다음과 같이 구성된다.

가. 복수가 탈기기로 공급되는 복수계통에 설치되는 3기의 50%용량 저압급수 가열기 2열과 급수가 탈기기에서 증기 발생기로 공급되는 급수계통에 설치되는 2기의 50%용량 고압급수 가열기 2열.

나. 내장형 배기 응축기를 갖춘 탈기기와 탈기기 저장 탱크

다. 추기, 가열기 배수 및 배기 배관 및 밸브

라. 추기체크밸브, 가열기 배수 수위 조절 밸브 등을 위한 계측제어 기기

마. 보온 및 도장

가열기에는 급수, 추기, 복수, 배수 및 배기관에 연결되는 노즐과 현장 및 원격용 계측기기를 위한 기타 부속물들이 설치되어 있다. 또한 가열기에는 배기, 배수 및 안전 밸브들이 설치되어 있으며 고정 지지대 및 미끄럼 지지대가 가열기를 지지토록 되어 있다.

모든 가열기에 있어 튜브의 재질이 스테인레스강인 반면 동체 및 튜브 고정판은 탄소강으로 되어 있다.

견고하게 제작하고 증기 및 물의 누설과 진공상태에서의 공기유입을 가능한 한 피하기 위해 연결부는 용접으로 처리되었다. 튜브의 손상 위험 없이 동체를 절단하고 재용접할 수 있도록 제작되었다.

2기의 고압 급수 가열기와 3번 저압 급수 가열기에 연결되는 추기관에는 전동기 구동 게이트밸브와 동력보조 체크밸브를 설치하였다. 탈기기로 연결되는 추기관에는 3개의 동력 보조체크 밸브(저압 터빈으로부터의 하나의 추기

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

관당 1개씩)와 한개의 전동기 게이트 밸브와 한개의 자유스윙 체크밸브를 설치하였다. 1번 및 2번 저압 급수가열기에 연결되는 추기관에는 체크 밸브나 격리밸브를 설치하지 않았다.

동력구동 체크밸브는 터빈트립신호를 받아 닫혀지게되며 급수가열기로부터 잔여 증기와 고온수가 역류하는 것을 방지한다. 이는 터빈을 과속도로부터 보호하게 된다.

급수가열기 배수계통은 각 가열기당 2개의 배수관으로 구성되어 있다. 정상배수관로는 아랫단의 급수가열기로 연결되도록 하고 대체(비상)배수관로는 복수기로 연결되도록 되어 있다. 배수계통은 2열 중 1열 운전으로 인해 증가되는 비정상 유량을 배수시킬 수 있도록 배관경을 결정하며 증기 또는 물에 의한 수격 현상을 피할 수 있도록 설계 되어 있다.

급수 가열기 배기계통은 급수가열기 동체와 배수냉각기 공간으로부터 비응축성 기체를 제거하여 적절한 열전달이 이루어질 수 있도록 하고 있다. 기동시 비정상 유량을 내보낼 수 있도록 배기관의 크기를 결정한다.

10.5.2.3 안전성 평가

이 계통들은 안전관련 계통이 아니다.

10.5.2.4 시험 및 검사

모든 급수 가열기 튜브에 대해 제작 중에 표면 검사를 수행하였다. 벤딩(bending) 후 통계적으로 많은 수의 튜브에 대해 추가 표면 검사를 하였다. 급수가열기는 재질 및 용접강도와 튜브, 동체 및 덮개의 기밀성을 점검할 수 있도록 공장 수압시험을 하였다.

모든 배관 및 밸브에 대해 ASME Power Piping 규격에 따라 시험,

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

검사하였다.

10.5.3 복수 및 급수계통

복수 및 급수계통은 가열된 급수를 증기발생기에 공급한다. 복수계통은 복수기 집수정에서 탈기기로 복수를 공급한다. 급수계통은 탈기기로 부터 증기발생기로 급수한다. 탈기기를 포함한 급수계통은 기동 및 정상운전시 증기발생기 내에 적정한 급수량을 유지할 수 있다.

관련 계통 흐름도는 다음과 같다.

- 그림 10.5-2(1/3) : 복수 계통
- 그림 10.5-2(2/3) : 복수보충 및 배출계통
- 그림 10.5-2(3/3) : 급수계통

10.5.3.1 설계 기준

10.5.3.1.1 안전 설계 기준

복수계통에는 안전기능이 없다. 급수계통 중 원자로 건물 외부에 있는 부분은 다음의 안전요구조건에 맞추어 설계하였다.

가. 증기 발생기 내부 급수저장량 유지조건과 관련하여 원자로 트립 후 잔열 제거 및 붕괴열 제거를 위한 보조 급수설비를 설치하였다.

나. 증기 발생기 보조 급수의 압력범위는 대기압 부터 주증기 안전 밸브 설계압력 설정치까지 이다.

다. 주급수펌프 상실 또는 4급 전원 상실시 3급 전원에 연결된 4% 용량의 보조급수 펌프로써 자동으로 보조급수 한다.

라. 증기 발생기 노즐에서 원자로 건물 밖 첫번째 앵커까지의 배관

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

은 설계 기준 내진 범주 A에 의해 검증하였고, 원자로 건물내부의 급수계통 체크밸브는 설계기준 지진시 증기발생기 2차측의 물이 배수되지 않도록 설계기준 내진 범주 B로 검증하였다. 나머지 급수 계통은 내진 검증이 요구되지 않는다.

마. 원자로 건물내 급수계통 체크밸브는 냉각재 상실사고 또는 원자로 건물 내에서의 주증기관 파손 사고시 발생하는 극심한 환경조건에서도 작동할 수 있도록 검증하였다. 보조 급수 계통은 터빈 건물내 증기 배관 파손시의 가혹한 환경조건에서 보호되고 또한 그러한 조건에서 기능할 수 있도록 환경 측면에서 검증하였다.

바. 보조 급수 계통은 냉각재 상실 사고 중 또는 사고 후에 기능을 발휘할 수 있어야 한다.

사. 급수계통은 사고시 냉각재계통의 열을 제거하기 위하여 증기발생기에 급수하며 그룹 1계통에 속한다.

아. 원자로건물내의 급수배관 파손은 AECB의 규제 문서 R-7, “CANDU형 원자력 발전소의 원자로건물 계통에 대한 요건”에서 요구하는 것과 같이 원자로건물의 구조적 건전성을 손상시키지 않을 것이다.

자. 급수배관이 통과하는 건물내에서의 어떠한 급수배관의 파손이라도 건물내의 안전관련기기와 주제어실내의 운전자에게 건물벽의 붕괴로 인한 안전관련 문제를 야기시키지 않을 것이다. 원자로 건물 내부에 있는 안전관련 계통 이외에도 몇개의 안전관련 계통은 원자로 건물 밖에 위치하며 이러한 안전관련 계통은 어떤 크기의 급수배관 파손에도 안전관련 기능을 유지하도록 하였다.

차. 터빈 건물 또는 원자로 건물내의 어떤 크기의 급수계통 파손으로 인한 증기 환경도 핵연료의 열제거 성능을 저하 시키거나 서비스 건물내에 극심한 환경을 유발시키지 않을 것이다.

카. 급수계통의 배관파손은 증기발생기 튜브누설을 야기시키지 않

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

을 것이다.

다. 모든 급수 계통이 사용 불가능할 경우 2개의 대체 급수원이 준비되어 있다. 첫번째 급수원은 살수탱크로 부터 비상급수(EWS)밸브를 통하여 중력에 의해 공급되는 것이고 두번째 급수원은 비상급수 저장조로부터 펌프와 밸브를 통하여 공급되는 것이다. 이러한 대체 급수원은 증기발생기의 압력이 낮을때 가능하다. 따라서 증기 발생기에 정상급수가 안 될 경우에는 즉시 주증기 안전밸브가 개방되어 증기발생기 2차측 압력을 저하시켜 대체 급수원이 열제거원 역할을 할 수 있도록 하였다.

10.5.3.1.2 계통 설계 기준

가. 주 급수펌프는 터빈이 트립되고 탈기기 압력이 떨어진 후에도 최대 용량으로 계속 운전된다.

나. 대기중인 주급수 펌프는 가동중인 펌프정지시 자동으로 기동된다.

다. 복수계통은 보조급수 펌프 작동시 탈기기 저장 탱크의 수위를 유지 할 수 있다. 탈기기로 연결된 복수계통 배관은 저부하 또는 기동시 탈기기와 연결 배관에 유체 과도 현상이 일어나지 않도록 설계하였다. 토출부에 사용하는 체크밸브 및 다른 기기들이 계통의 성능에 영향을 주지 않도록 설계하였다.

라. 급수펌프의 과열 및 과도한 압력충격과 이에 따른 증기 발생기 수위파동을 방지하기위해 최소유량 재순환 계통을 각 주 급수펌프 및 보조 급수 펌프에 설치하였다.

마. 주 급수제어 밸브의 상단 및 하단에는 각각 격리 밸브를 설치하였으며 이들 중 하나는 3급 전원이 공급되는 전동식 밸브이다.

바. 탈기기 저장 탱크는 보조증기를 사용하기 전에 급수를 최소 허

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

용온도로 가열할 수 있는 장치가 있다.

사. 증기발생기 내부에 구리로 인한 부식 생성물의 침전을 최소화하기 위하여 증기, 복수 및 급수계통에 구리나 구리합금 재질은 사용하지 않았다. 1% 무게 미만의 미량의 구리함량은 만일 이 재질이 구리를 함유하지 않은 대체 재질보다 부식 또는 국부적인 침식이 현저히 낮게 일어난다는 것이 확인될 경우 사용 가능하다.

아. 증기발생기로의 급수는 증기발생기 입구 노즐에서 4.889MPa(a) (709 psia)의 압력으로 증기발생기당 258.5kg/s (2.051×10^6 lb/hr)의 유량으로 공급한다. 정상 압력조건에서 추가로, 연결점에서의 최대 연속 정격유량의 100%와 110%에서, 증기 발생기의 증기압력 오차인 34.5 KPa (5 psi)도 고려하였다. 증기 발생기 입구 급수 온도는 186.7°C (368°F)이다.

자. 각 급수라인에 연결된 주급수 제어밸브중 하나를 완전 개방했을 때, 작동중인 주급수 펌프(대기펌프 제외)는 증기발생기내로 최소한 최대 연속정격 유량의 110% 이상을 급수할 수 있다.

차. 보조급수 제어밸브는 최대 연속정격 유량의 18%를 급수 할 수 있다.

카. 보조급수 제어밸브는 하류측이 대기압일 경우 최대 유량의 1/50을 공동현상없이 제어 할 수 있다.

타. 예열 운전 기간중 최대 급수 유량은 급수 온도 21°C (70°F)에서 최대 연속 정격의 1%이다.

파. 원자로 트립 또는 4급 전원상실과 같은 과도조건 후 얼마 기간 동안 급수 온도는 정상적으로 116°C (240°F)로 유지된다. 같은 조건에서 최소허용 급수온도는 100°C (212°F)이고 급수유량은 4%를 넘지 않는다.

하. 급수조절밸브와 전동식 격리밸브의 개폐 작동시간은 20초를 넘

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

지 않는다.

거. 부하 변경등 과도 운전시 증기 발생기에 충분한 유량을 급수하도록 110% 급수 용량을 유지할 수 있다.

너. 주증기 배관 파손시 급수제어밸브는 주급수 펌프가 트립되지 않도록 급수유량을 제한한다.

더. 전체 2차측 물 저장 용량 조건은 24분간의 전부하 용량이다. 증기발생기 내부에 100%출력시 최소 1.5분간의 전부하 용량이 저장된다. 탈기기 저장 탱크(331 m³용량)에는 정상운전 수위인 경우 최소 5분간의 전부하 용량이 저장된다. 복수기 집수정(168m³)과 복수저장탱크 (완충탱크)(182m³용량)에 저장된 복수는 5분간의 전부하 용량이다. 이 모든 저장 용량은 순수저장 탱크의 저장량을 제외한 것이며 한 쌍의 발전소 중 한 발전소에 13분간의 전부하 용량에 해당하는 820m³의 순수를 급수 계통에 공급 할 수 있도록 순수저장 탱크의 용량이 산정되었다.

러. 대기중인 주급수 펌프와 보조급수 펌프는 자동으로 즉시 작동 가능하도록 준비 상태에 있어야 한다. (베어링 윤활유 계통, 윤활유냉각계통 및 축밀봉 계통의 가동상태 유지 등)

머. 증기 발생기 압력 및 수위조절을 위한 적절한 계측제어설비를 갖추었다.

버. 증기 발생기와 급수계통 급수의 화학성분은 철저히 제어 되어야하며 이는 중수 냉각재와 경수인 급수를 분리하고 있는 증기발생기 튜브의 건전성을 유지하기 위함이다.

서. 원자로 건물내 주 급수계통의 설계 압력은 5.07 MPa(g) (735 psig)이고 설계 온도는 205°C (400°F)이다.

어. 증기 발생기 입구 노즐에서의 주급수 계통의 정상운전 압력은

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

4.889MPa(a)(709 psia)이고 압력 오차 34.5kPa(5psi)가 추가 된다. 정상운전 온도는 186.7°C (368°F)이다.

10.5.3.2 계통 설명

복수 및 급수계통은 다음과 같이 구성된다.

- 100% 용량의 복수펌프 2대, 구동용 전동기, 계측기 및 관련 부속품
- 보조 복수 펌프 1대, 구동용전동기 및 관련 부속품
- 2개의 최소유량 재순환 계통, 1개는 2대의 복수펌프에 공용이고, 1개는 보조 복수펌프용 이다.
- 50% 용량의 증기 발생기 급수펌프 3대, 구동용전동기, 계측기 및 부속품
- 증기 발생기 보조 급수 펌프 1대, 구동용전동기 및 관련 부속품
- 3대의 50% 급수 펌프와 1대의 보조급수펌프에 각 1개인 4개의 최소유량 재순환 계통
- 배관, 밸브, 지지물 및 기타 부속품
- 보온재 및 도장

정상 운전시 100% 용량의 복수펌프 1대로 복수를 저압 재생 급수가열 계통을 통하여 탈기기로 공급하고 50% 용량 2대의 급수펌프를 병렬로 운전하여 급수를 고압 재생 급수가열 계통을 통하여 원자로 건물내 증기 발생기로 공급한다.

터빈발전기가 정격 연속 부하로 운전되고 있을때 어떤 한대의 복수 펌프나 급수펌프가 정지하더라도 이것이 원자로 정지까지 이르는 순차적 사건으로 전개되지는 않는다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

증기발생기 급수펌프의 재순환 배관은 펌프가 저유량에서 연속운전을 계속할 수 있게 하며, 이들 재순환 라인은 각각 독립적으로 탈기기로 연결되어 있다. 하나의 급수배관으로 부터 배수관이 유량제한 오리피스와 같이 관련 재순환 배관에 연결되어 있어서 모든 급수 펌프 트립사고시 계통을 감압시켜 증기발생기 급수라인 저압 원자로 트립 신호를 동작시킬 수 있게 한다.

4급 전원 상실시에는 복수기 집수정, 보조복수펌프, 탈기기, 보조급수펌프 순서로 급수가 증기발생기로 공급된다.

10.5.3.3 안전성 평가

가. 배관파손이 주변 안전관련계통에 손상을 주지 않도록 필요에 따라 급수배관을 격리 또는 고정시켰다.

나. 배관파손이 원자로 안전 정지를 방해하지 않도록 급수배관을 설계하고 배치하였다.

다. 원자로건물과 증기발생기 사이의 급수배관은 설계기준 지진 범주 'A'의 요건에 맞도록 설계하였다. 원자로 건물내 급수체크밸브는 설계기준 지진범주 'B'로 내진검증 되었다.

라. 4급 전원의 상실은 원자로 안전정지를 방해하지 않는다.

마. 급수계통은 상시 운전되며 물에 의한 수격 현상의 효과를 최소화 하도록 설계하였다. 급속 작동 경사 디스크 형 체크밸브가 펌프 방출 라인에 수격현상을 방지 또는 최소화하기 위해 사용되었다.

10.5.3.4 시험 및 검사

모든 복수 및 급수 계통의 배관 및 밸브들에 대한 시험 및 검사는 ASME B31.1, Power Piping 규격에 따라 수행한다.

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

원자로건물과 증기발생기 사이의 배관은 ASME Section III에 따라서 검사된다.

펌프는 다음의 공장시험을 받는다.

- 유압시험
- 공동현상시험을 포함하는 성능시험
- 진동측정
- 재료시험
- 규정된 비파괴 검사

10.5.4 복수보충 및 배출계통

복수보충 및 배출계통은 정상운전시나 비정상 운전시 복수를 복수기로 보충하거나 초과된 복수를 저장하는 기능을 담당한다.

10.5.4.1 설계 기준

10.5.4.1.1 안전 설계 기준

이 계통은 안전관련기능을 갖지 않는다.

10.5.4.1.2 계통 설계 기준

이 계통은 요구시 복수기에 보충수를 공급하도록 설계하였다. 또한 이 계통은 정상운전이나 비정상 운전하에서 급수 및 복수계통으로부터 초과복수를 저장할 수 있도록 설계하였다.

10.5.4.2 계통 설명

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

이 계통은 복수 저장탱크로 구성되어 있다. 이 탱크는 복수계통으로 복수를 보충하고 초과된 복수를 저장하는 기능을 담당한다. 복수기 집수정의 수위는 순수 저장탱크로부터 물을 공급받아 수위를 유지하는 복수 저장탱크로부터 복수공급에 의해 유지된다.

10.5.4.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.4.4 시험 및 검사

이 계통의 모든 배관 및 기기에 대한 시험 및 검사는 ASME B31.1 – Power Piping의 요구조건에 따라 수행한다.

10.5.5 습분분리/재열기 응축수계통

터빈 발전기의 습분분리/재열기내에 응축된 증기는 고압 급수 가열기로 보내어진다. 관련 계통도는 그림 10.5-3와 10.5-4 참조.

10.5.5.1 설계 기준

10.5.5.1.1 안전 설계 기준

이 계통은 안전 관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.5.1.2 계통설계 기준

이 계통은 재열기 안에서 생성되는 응축수와 습분분리기가 고압터빈의 습한 배기로 부터 제거한 모든 응축수를 배수하도록 설계하였다.

월성 3, 4 호기 최종안전성분석보고서

증기가 습분분리/재열기로부터 빠져나가지 못하도록 배수탱크의 적절한 수위가 유지된다.

10.5.5.2 계통 설명

이 재열기 배수계통은 다음과 같이 구성되어 있다.

- 1단계 (저압) 재열기 배수, 배수탱크, 배관 및 밸브
- 2단계 (고압) 재열기 배수, 배수탱크, 배관 및 밸브
- 제어 및 계측기기

습분분리기의 배수계통은 습분분리기 배수, 배수탱크, 배관, 밸브, 제어 및 계측기기로 구성된다. 습분분리기와 재열기들로부터의 배수는 자체배기 흐름 (Self-Venting Flow)에 의해 각각의 배수탱크로 배수된다. 저압 및 고압 재열기 배수는 모두 배수탱크로 부터 6번 급수가열기로 배수되며 습분분리기의 배수는 5번 급수가열기로 배수된다. 비상배수는 각 배수탱크로 부터 복수기로 보내진다. 모든 배수로에는 배수탱크 수위를 설정된 상태로 유지하기 위하여 수위조절 밸브가 설치되었다.

10.5.5.3 안전성 평가

이 계통은 안전관련 기능을 갖지 않는다.

10.5.5.4 시험 및 검사

모든 배관 및 밸브에 대한 시험 및 검사는 ASME B31.1-Power Piping의 요구조건에 따라 수행한다.

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력(주)
원성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

급수 가열 계통 흐름도(1/4)

그림 10.5-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

급수 가열 계통 흐름도(2/4)

그림 10.5-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

급수 가열 계통 흐름도(3/4)

그림 105-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

급수 가열 계통 흐름도(4/4)

그림 10.5-1

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국수력원자력(주)
월성원자력 3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

복수 및 급수 계통 흐름도(1/3)

그림 10.5-2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.




한국수력원자력(주)
원상원자력 3.4호기
최종 안전성 분석 보고서

복수 및 급수계통 흐름도(2/3)
그림 10.5-2

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



	한국수력원자력(주) 원심원자력 3.4호기 최종 안전성 분석 보고서
복수 및 급수 계통 흐름도(3/3)	
그림 10.5-2	

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

습분 분리기 배수 계통 흐름도

그림 10.5-3

본 문서는 한국수력원자력(주)이 정보 공개용으로 작성한 문서입니다.



한국전력공사
월성원자력 2,3,4호기
최종 안전성 분석 보고서

재열기 배수 계통 흐름도

그림 10.5-4

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.6 보조계통

10.6.1 일반사항

앞의 항목에 기술된 기기에 추가해서 터빈발전기 계통은 모든 필요한 보조기기를 갖추고 있다.

주요 부속장치는 다음과 같다.

가. 급수 및 복수의 화학 분석용 시료 채취를 위한 시료채취 계통

나. 여러기기의 배수구로 부터 처리된 물과 잠열을 회수하기 위한 증기 배수 계통

다. 급수 및 복수를 규정된 적정등급의 화학성분으로 유지 및 제어하기 위하여 화학물질을 주입하는 화학물질 주입 계통

10.6.2 시료 채취계통

증기발생기 취출수, 복수 및 급수계통에는 요구조건에 따라 연속적으로 시료를 채취할 수 있다. 온라인 화학성분 분석기능이 필요한 곳에 제공된다. 채취된 시료를 화학실험실에서 분석하여 온라인 분석을 보완한다. 62

시료채취 계통은 증기발생기 취출수, 급수 및 복수를 화학제어실에서 연속적으로 감시할 수 있도록 하며 다음으로 이루어진다. 62

가. 시료채취점, 튜빙, 시료채취 밸브 및 시료 온도를 40℃(104°F)로 냉각하기 위한 냉각기 54

나. 복수기의 튜브누설을 감시하기 위해 각 복수기 집수정 출구와 주복수 및 보조복수 펌프의 토출구 및 증기발생기 취출수에서 연속적으로 나트륨 농도를 감시할 수 있는 나트륨 분석기 62

다. 계통의 전취발성화학처리 상태를 연속적으로 감시하기 위한 고

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.6 보조계통

10.6.1 일반사항

앞의 항목에 기술된 기기에 추가해서 터빈발전기 계통은 모든 필요한 보조기기를 갖추고 있다.

주요 부속장치는 다음과 같다.

가. 급수 및 복수의 화학 분석용 시료 채취를 위한 시료채취 계통

나. 여러기기의 배수구로 부터 처리된 물과 잠열을 회수하기 위한 증기 배수 계통

다. 급수 및 복수를 규정된 적정등급의 화학성분으로 유지 및 제어하기 위하여 화학물질을 주입하는 화학물질 주입 계통

10.6.2 시료 채취계통

증기발생기 취출수, 복수 및 급수계통에는 요구조건에 따라 연속적으로 시료를 채취할 수 있다. 온라인 화학성분 분석기능이 필요한 곳에 제공된다. 채취된 시료를 화학실험실에서 분석하여 온라인 분석을 보완한다. 62

시료채취 계통은 증기발생기 취출수, 급수 및 복수를 화학제어실에서 연속적으로 감시할 수 있도록 하며 다음으로 이루어진다. 62

가. 시료채취점, 튜빙, 시료채취 밸브 및 시료 온도를 40℃(104°F)로 냉각하기 위한 냉각기 54

나. 복수기의 튜브누설을 감시하기 위해 각 복수기 집수정 출구와 주복수 및 보조복수 펌프의 토출구 및 증기발생기 취출수에서 연속적으로 나트륨 농도를 감시할 수 있는 나트륨 분석기 62

다. 계통의 전취발성화학처리 상태를 연속적으로 감시하기 위한 고

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

압급수가열기 (HP #6) 출구 및 증기발생기 취출수의 수소이온농도(pH) 분석기, 수동밸브의 조작으로 복수펌프와 급수펌프 토출구의 pH 감시도 가능하다. 62

라. 탈기기상류, 급수펌프 토출구 및 다른 여러 혼합 시료라인에서 연속 산소 감시를 위한 용존산소 분석기, 이것으로 탈기기의 효능과 복수기의 공기 밀봉도를 감지한다.

마. 전도도 연속 감시를 위한 전도도 분석기. 이것은 증기발생기 취출수 및 급수에서 계통의 일반적인 화학성분과 pH조절용 화학약품의 농도를 감시하고 복수기 침수정 출구 및 증기발생기 취출수에서 복수기 튜브 파손으로 인한 해수 누설을 감시한다. 62

10.6.3 증기 배수계통

증기 계통에서의 모든 배수는 처리수 회수뿐만 아니라 잠열을 회수하기 위하여 가능한 한 복수기로 이송한다. 이것은 또한 터빈 내 물유입으로 인한 터빈 손상을 방지한다.

10.6.4 화학 물질 주입계통

이 계통에는 다음 항목들이 포함된다.

가. 희석된 하이드라진, 인산염, 몰포린, 기타 화학물질을 혼합 및 저장하는 각각의 용량이 1400L인 4개의 스테인레스강 탱크

나. 각 화학물질별 주입 펌프

다. 화학물질 주입 지점은 복수펌프, 급수펌프이고, 증기발생기에도 직접 주입하는 지점이 있다.

이 계통은 제어 및 계측장치를 완비하고 있다.

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.6.5 복수기 냉각수 계통

이 계통은 그림 10.6-1 에 나타난 바와 같이 복수기에 필요한 냉각수를 공급하며, 냉각매체로 해수가 사용된다. 2대의 50%용량의 냉각수 펌프가 펌프하우스에 위치하고 있으며, 각 펌프는 독립된 흡입부를 갖고 있다.

펌프는 정상시 병렬상태로 작동하나 1대의 펌프로도 2대 펌프의 총 정격 용량의 60%를 넘는 냉각수를 방출하므로써 지속적이며 원만한 운전이 가능하다.

냉각수는 복수기 동체로 분배되고 유출구로 방출되며 부식방지를 위해 적절한 내부 보호설비가 설치된다. 모든 펌프의 방출부와 복수기 수실(Water Box)의 입구 및 출구는 모터로 작동되는 나비형 밸브가 설치된다.

냉각수로써는 해수가 사용되며, 정상운전 상태에서의 복수기 설계기준은 입구 해수온도가 22°C일 때 복수기 냉각수 온도 상승치는 9.5°C(17°F)이며, 입구 해수온도 상승 및 강하에 따라 온도 상승치는 각각 감소 및 증가한다. 냉각수는 오물 걸름망(trash rack)과 회전 스크린을 이용함으로써 작은 이물질이나 어류들을 걸러 낸다.

불 세정계통은 복수기 튜브의 오염도를 최소화 하기위해 사용된다. 대구경 배관의 연결을 위하여 신축이음이 복수기의 냉각수 배관 연결부에 설치된다.

이 연결부들은 신축이음의 과도한 움직임을 방지하고 조기파손을 방지하기 위한 조절 장치를 갖고 있다. 터빈 건물 지하 피트(EL. 85.57m)에 위치한 3개의 수위 스위치는 터빈 건물 지하부의 비정상적인 수위를 감지하고 경보한다. 이 수위스위치의 경보설정치는 86.48m, 86.18m, 85.88m 높이에 설정되어 있다. 신축이음 파손으로 인하여 터빈건물 지하의 복수기 피트 수위가 계속하여 상승하면 수위 스위치가 이를 감지하여 주제어실에 경보를 발생시킨다. 복수기 입·출구의 전동밸브로써 계통을 격리할 수 있고 더 이상의 수위 증가를 방지할 수 있다.

보조급수펌프는 터빈건물 보조칸(auxiliary bay)내의 88.92m 높이에

월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

위치한다. 이 보조칸은 “N”가로기둥선을 따라 설치된 벽에 의해 주터빈홀과 분리되어 있어서 터빈홀내의 범람된 물은 급수펌프 지역으로 퍼지지 않는다. 기기 냉각수 펌프는 터빈건물내의 97.15m 높이에 위치한다. 이 펌프는 터빈홀의 범람에 영향을 받지 않는다. 이러한 안전관련 기기는 “N”가로기둥선의 벽에 의해 터빈홀 기초부내의 물의 범람으로부터 영향을 받지 않도록 완전히 보호된다.





월성 3,4 호기 최종안전성분석보고서

10.7 참고 문헌

- | | | |
|--------|----------------------|--|
| 10.7-1 | DCS-E1.001 부터 E2.109 | T/G Mark V Control System |
| 10.7-2 | DCS-E1.006 | T/G Data Processing and Alarm
Logging |
| 10.7-3 | TWDPS-2 | Recommended Pratices for
Preventing Water Induction into
Turbine Generators-ASME |

